Astronomia per tutti

Volume 8

Neofiti: Come funzionano i telescopi

Costellazioni: Sagittario e Scudo

Astrofotografia: Imaging planetario: preparare il setup

Ricerca amatoriale: Scoprire pianeti extrasolari dal balcone di casa

Astrofisica: L'espansione dell'Universo

Astronautica: L'esplorazione di Mercurio

Attualità: Che cos'è il bosone di Higgs

Domande e risposte

Daniele Gasparri

Daniele Gasparri

Astronomia per tutti: volume 8

Per vedere tutti i miei libri cliccare qui

Se vi siete persi gli altri volumi di astronomia per tutti, li trovate qui

Indice

Nel prossimo volume

In copertina: il centro della Via Lattea al tramonto tra le costellazioni dello Scorpione e del Sagittario a cui è sovrapposto uno strano chiarore: non è inquinamento luminoso, ma la luce zodiacale, evidente da un cielo scuro come quello dell'outback australiano in questa foto scattata la sera del 13 Novembre 2012

Presentazione

L’ottavo volume di “Astronomia per tutti” è più corposo dei precedenti e tratta argomenti molto interessanti.

Si parte parlando finalmente di telescopi, il tanto atteso momento dopo mesi di gavetta scrutando il cielo a occhio nudo o al massimo con un binocolo. Non siamo ancora pronti per puntarlo al cielo perché prima dobbiamo capire come funziona e quali sono le principali caratteristiche. Un piccolo spoiler: l’ingrandimento potrebbe non essere così importante come si pensa.

Per quanto riguarda la fotografia astronomica cominceremo a preparare il setup in vista delle riprese planetarie in alta risoluzione. Qualche accorgimento e saremo pronti per ottenere splendide immagini, con qualsiasi telescopio.

L’argomento di ricerca è assolutamente affascinante e per questo spiegato nel dettaglio: proveremo e riusciremo a scovare pianeti extrasolari dal balcone di casa con un telescopio da poche centinaia di euro. Fantascienza? Impossibile? Assolutamente no e ve lo dimostrerò. Siate pronti a meravigliarvi dei passi da gigante compiuti dalla tecnologia, ormai accessibile a tutti.

Il tema di astrofisica è altrettanto interessante: parleremo infatti dell’espansione dell’Universo. Capiremo com’è stata scoperta, da chi e quali sono le implicazioni sulla struttura stessa del Cosmo. Nessuno fino all’arrivo del ventesimo secolo avrebbe immaginato un Universo in continuo movimento, eppure l’astronomia è ricca di sorprese.

Torneremo di nuovo tra i nostri vicini di casa parlando dell’esplorazione di Mercurio, il pianeta più piccolo e

inaccessibile del Sistema Solare.

Concluderemo il viaggio con un tema di attualità non direttamente collegato alle questioni astronomiche: il bosone di Higgs. Cercando di comprendere, con parole semplici e qualche esempio, di cosa si tratta, capiremo che questa particella invisibile, inseguita per oltre quarant'anni, è in realtà il costituente fondamentale di ogni struttura dell'Universo, compresi, naturalmente noi. Anche in questo caso la scienza supera la migliore trama di qualsiasi film.

Daniele Gasparri
Agosto 2013

Neofiti

In questa sezione, che verrà estratta dai miei libri: "Primo incontro con il cielo stellato" e "Che spettacolo, ho visto Saturno!", affronterò insieme a tutti gli appassionati il difficile ma appassionante cammino verso l'osservazione consapevole dell'Universo e dei fantastici oggetti che ci nasconde.

Si tratta di un vero e proprio corso di astronomia di base, che parte dalle fondamenta per giungere, con la dovuta calma e pazienza, alla scelta del telescopio e ai consigli sugli oggetti

celesti da osservare.

Per ora limitiamoci a familiarizzare con l’astronomia, a capire di cosa parla e quali corpi e fenomeni troverete lungo il cammino.

Un consiglio prima di iniziare: preparatevi a grandi sorprese!

Come funzionano i telescopi

Il telescopio è lo strumento per eccellenza dedicato all'osservazione del cielo.

Ogni telescopio astronomico è composto di due parti, una ottica, detta anche tubo ottico, che rappresenta il telescopio vero e proprio, e l'altra meccanica, con il delicato compito di sorreggere adeguatamente lo strumento durante le osservazioni, spesso condotte ad alti ingrandimenti. L'insieme ottico-meccanico di ogni strumento astronomico non può essere diviso e prende il nome di telescopio.

La parte ottica di ogni telescopio è piuttosto semplice. Essa è costituita da un obiettivo che ha l'unico compito di raccogliere la luce. A seguito della particolare forma dell'obiettivo, che può essere formato da lenti o da uno specchio, la luce raccolta viene focalizzata in un punto a una distanza fissata, detto fuoco, al centro del piano focale.

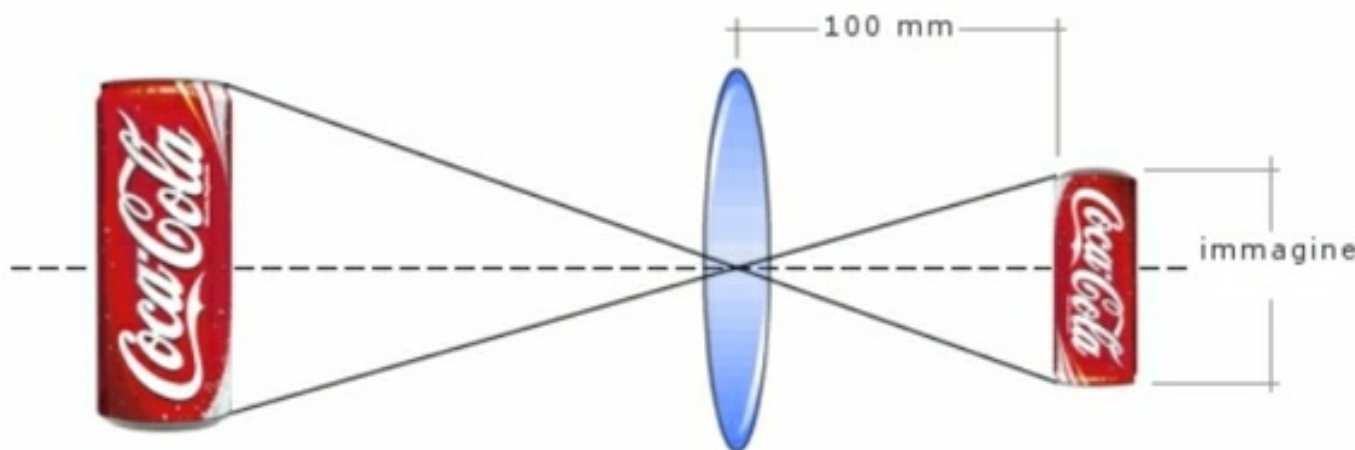
Il telescopio più semplice che possiamo immaginare è formato da una lente di forma sferica, ad esempio una lente di ingrandimento.

Un telescopio che utilizza lenti per raccogliere la luce è detto rifrattore.

La luce che attraversa il vetro viene convogliata dall’altra parte fino a formare un’immagine definita proprio nel piano focale. In questo punto la lente, quindi ogni obiettivo di un telescopio, forma

un’immagine reale di ciò che inquadra. Se l’immagine è puntiforme, la luce viene focalizzata nel punto focale, detto semplicemente fuoco; quando l’immagine è di un oggetto esteso, essa occupa una superficie estesa facente parte del piano focale, di cui il punto focale è esattamente il centro.

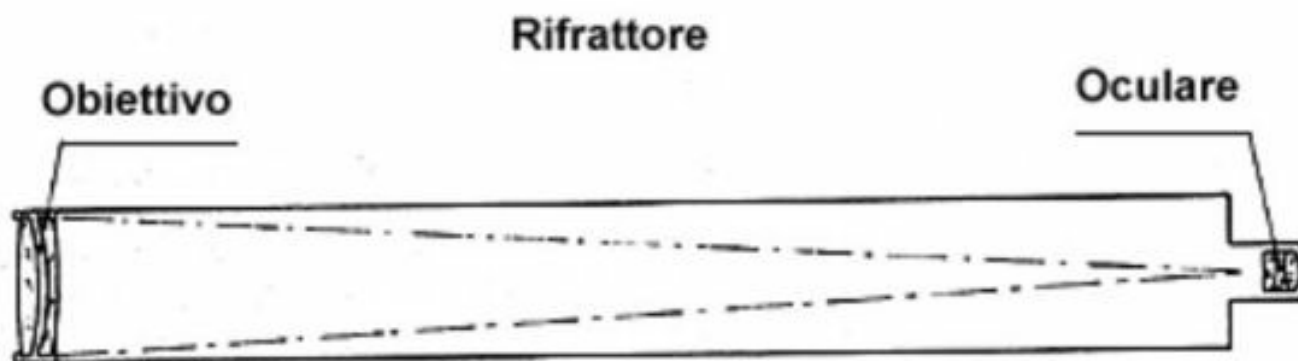
L’immagine che ogni obiettivo forma sul piano focale è reale

e si può osservare. Per dimostrare ciò, basta prendere la solita lente di ingrandimento e farci passare la luce proveniente da un paesaggio. In prossimità del piano focale poniamo un foglio bianco e noteremo che sul foglio si riproduce l'immagine rimpicciolita e invertita del panorama inquadrato.

Ogni lente dall'opportuna forma è capace di raccogliere la luce e di focalizzarla su un piano, detto piano focale. L'immagine che si forma è reale e capovolta; questo è il semplice principio che sta alla base del funzionamento di un telescopio e dell'occhio umano stesso. Senza il cristallino, non potremmo vedere a fuoco il mondo che ci circonda.

Se al posto del foglio mettiamo il nostro occhio, non vediamo nulla: l'immagine non sembra più esserci. Questo è dovuto al fatto che anche il nostro occhio è a tutti gli effetti un sistema ottico, composto da una lente (il cristallino) che ha il compito di focalizzare la luce dei soggetti che stiamo osservando. Se osserviamo direttamente una sorgente di luce già focalizzata, il sistema ottico del nostro occhio non riesce a comporre più l'immagine.

Questa semplice esperienza ci fa capire che se vogliamo osservare dentro un telescopio dobbiamo utilizzare un altro accessorio, posto nei pressi del piano focale, che ha il compito di raccogliere la luce focalizzata dall'obiettivo e renderla visibile,

magari ingrandita, direttamente al nostro occhio. L'alternativa di osservare l'immagine formata su un foglio bianco o uno schermo non è molto attraente, visto che è piuttosto piccola e non venendo osservata direttamente perde di qualità. L'accessorio che permette all'occhio di osservare direttamente la luce raccolta da ogni telescopio si chiama oculare. Per osservare al telescopio serve sempre un oculare, altrimenti non vedrete mai nulla.

La distanza alla quale ogni telescopio focalizza le immagini è fissata dal progetto ottico e dipende dalla curvatura delle lenti o degli specchi. Questa distanza è chiamata lunghezza focale o semplicemente focale (F). Nei telescopi più semplici, la lunghezza focale è circa pari alla lunghezza del tubo ottico, mentre nelle configurazioni ottiche più complesse il tubo ottico può essere anche molte volte più corto della lunghezza focale effettiva.

Schema di un semplice telescopio rifrattore. A prescindere dagli elementi ottici utilizzati, lo scopo di un telescopio è sempre lo stesso: raccogliere e focalizzare nel piano focale la luce.

La potenza di un telescopio

Perché utilizzare un telescopio per l'osservazione del cielo? Se la vostra risposta è: "perché un telescopio permette di ingrandire", mi dispiace dirvi che è sbagliata. La potenza di un telescopio non è nell'ingrandimento. La vera potenza di un telescopio è nella capacità della raccolta della luce e nel potere risolutivo.

Vediamo una a una queste grandezze.

Capacità di raccolta della luce

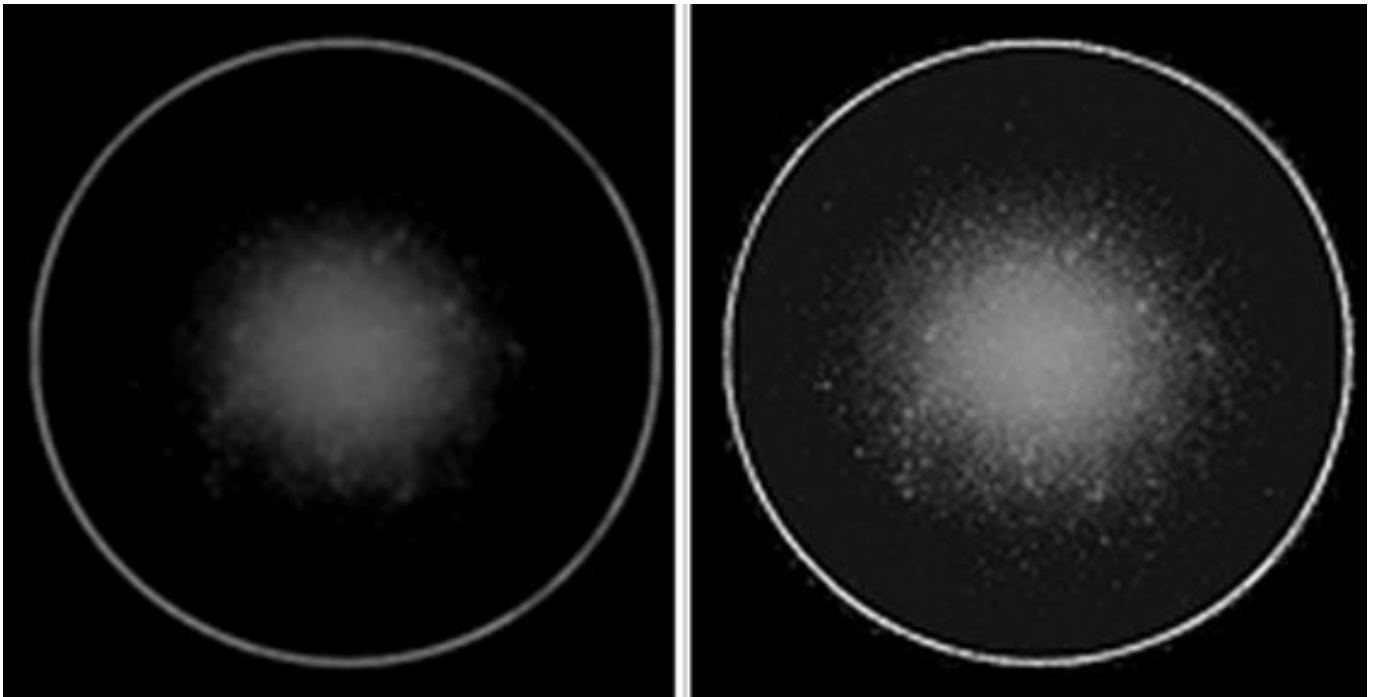
Il nostro occhio è formato da un cristallino, la lente che focalizza l'immagine sulla retina, e da un'apertura, detta pupilla, dalla quale entra la luce. La quantità di luce che può raccogliere il nostro occhio dipende, a parità di intensità della sorgente, da quanto è grande l'apertura, ovvero la pupilla.

Questo principio è valido per ogni strumento ottico, compresi, ovviamente, i telescopi. Visto che la luce di qualsiasi sorgente si espande ovunque, un'apertura maggiore riesce a raccogliere più luce di un'apertura minore. Una maggiore raccolta di luce significa poter osservare oggetti molto più deboli rispetto all'occhio umano, quindi andare più in profondità nello spazio.

La quantità di luce raccolta da ogni strumento ottico dipende unicamente dal diametro dell'obiettivo.

Il diametro dell'obiettivo dell'occhio umano (la pupilla) è al massimo di 7 millimetri, quella di un telescopio amatoriale per principianti di almeno 50 mm. La quantità di luce raccolta in più rispetto all'occhio umano dipende dal quadrato di queste due grandezze, quindi, un telescopio da 50 mm di diametro raccoglie:

50x50/7x7= 51 volte più luce dell’occhio umano, ovvero permette di osservare oggetti oltre 50 volte più deboli di quelli visibili a occhio nudo.

Un ottimo telescopio per principianti ha un diametro tipico di 150 mm, ne consegue che esso ci permette di osservare oggetti circa 450 volte più deboli rispetto all’osservazione a occhio nudo, davvero un bel salto in avanti verso la conoscenza delle meraviglie del cielo!

Simulazione dell’aspetto dell’ammasso globulare M13 in funzione del diametro del telescopio. A sinistra come appare con uno strumento da 150 mm, a destra con uno da 300 mm. Un diametro più grande consente una maggiore raccolta di luce, quindi di vedere stelle più deboli. Nelle osservazioni deep-sky un diametro generoso è fondamentale.

La capacità di raccolta della luce di ogni strumento si misura solitamente con la massima magnitudine stellare che è possibile osservare. Un telescopio dal diametro maggiore consente di vedere stelle di magnitudine più debole rispetto all’occhio umano, o a uno strumento di diametro inferiore, naturalmente a parità di altre condizioni, quali la qualità del cielo.

Determinare quale è la magnitudine limite stellare è quindi un dato piuttosto importante per tutti gli astrofili.

Con l'esperienza e un cielo molto scuro è possibile anche superare questi valori, che si riferiscono solo a sorgenti puntiformi (stelle). Per capire quale è l'oggetto diffuso più debole visibile, una regola empirica afferma che esso è di circa 1,5-2 magnitudini più brillante rispetto al limite imposto per una stella.

Diametro telescopio in mm	Δm (differenza tra la magnitudine massima visibile a occhio nudo e la magnitudine massima con lo strumento)
80 mm	Δm = 5
100 mm	Δm = 5,5
150 mm	Δm = 6,4
200 mm	Δm = 7
250 mm	Δm = 7,5
300 mm	Δm = 7,87
2400 mm (Hubble space telescope)	Δm = 14
10000 mm (Keck telescope)	Δm = 17

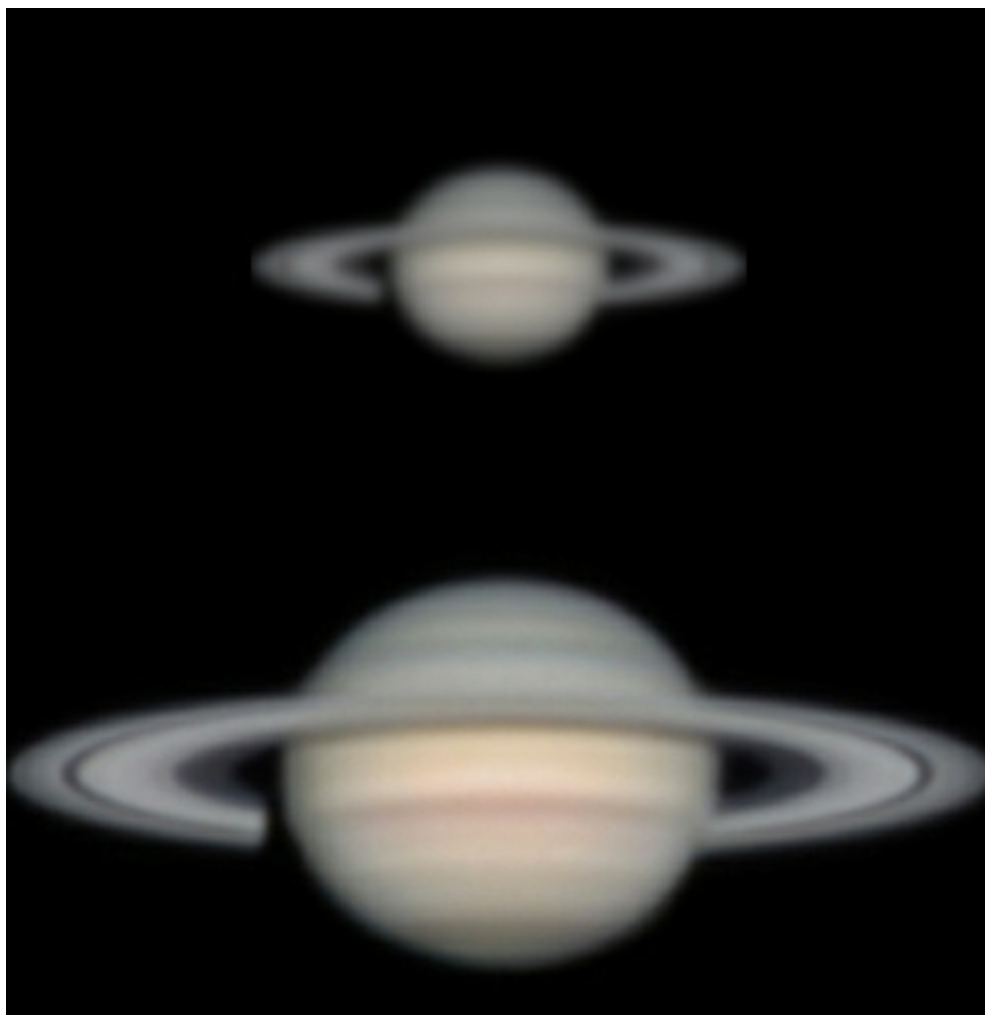
Il potere risolutivo

Il diametro dell'obiettivo di ogni telescopio, oltre a far vedere oggetti più deboli, permette di vedere meglio oggetti angolarmente poco estesi o molto vicini tra di loro, migliorando quello che si chiama il potere risolutivo. In parole semplici, un telescopio permette anche di vedere più particolari rispetto all'occhio nudo, a prescindere dalla quantità di luce raccolta.

Il potere risolutivo indica quale è il dettaglio più piccolo che è possibile osservare.

L'occhio nudo permette di arrivare a un potere risolutivo di circa 1 minuto d'arco, pari ad 1/60 di grado o 60 secondi d'arco. Questo significa che due oggetti distanti angolarmente meno di questo valore verranno visti uniti, non risolti. Un telescopio permette di aumentare il potere risolutivo in maniera proporzionale al diametro dell'obiettivo.

Una formula per esprimere il potere risolutivo teorico di uno strumento è la seguente: PR = 115/D, dove D è il diametro dell'obiettivo espresso in millimetri. Il potere risolutivo risultante è espresso in secondi d'arco.

Il solito strumento da 150 millimetri di diametro ha un potere risolutivo di circa PR = 115/150 = 0,77" (secondi d'arco), ben 78 volte superiore all'occhio nudo. Questo ci consente di vedere maggiori particolari di qualsiasi tipo di oggetti, dalla Luna ai pianeti, ai panorami terrestri.

Saturno osservato con uno piccolo strumento da 60-70 mm, in alto, e come invece appare all’oculare di un telescopio da 200 mm, in basso. Un diametro maggiore riesce a risolvere migliori dettagli, a prescindere dall’ingrandimento e a parità di condizioni atmosferiche.

Il ruolo dell'ingrandimento

Nel descrivere i due punti che determinano univocamente la potenza di un telescopio non è stato menzionato l'ingrandimento. In effetti questo non è un caso, in quanto l'ingrandimento non è una caratteristica fondamentale di un telescopio, ma solamente il mezzo attraverso il quale si raggiungono i limiti di ogni strumento.

In linea teorica non esiste limite all'ingrandimento raggiungibile con ogni strumento, visto che esso è fornito dall'inserimento nell'apposito alloggio di accessori chiamati oculari. Anche uno strumento giocattolo, quindi, può raggiungere ingrandimenti di centinaia o migliaia di volte. Il problema è la qualità dell'immagine risultante, che risulterà pessima quando si supera una certa soglia.

Per descrivere l'ingrandimento massimo necessario a sfruttare tutto il potenziale del proprio strumento (determinato dal diametro dell'obiettivo) si è soliti definire l'ingrandimento massimo utile, pari a circa 2, massimo 2,5 volte il diametro dell'obiettivo del telescopio espresso in millimetri.

Ne consegue che per un telescopio da 150 millimetri l'ingrandimento massimo utile è di circa 370 volte.

In prossimità di questo valore, trascurando altre variabili che vedremo quando parleremo dell'osservazione telescopica, si ha la massima resa dello strumento per quanto riguarda il potere risolutivo (la quantità di luce raccolta dipende poco dall'ingrandimento, anzi, ingrandimenti bassi consentono di vedere oggetti più deboli).

Ingrandendo ulteriormente l'immagine, l'effetto è lo stesso che si nota quando si ingrandisce troppo una foto sul computer:

alla nitidezza iniziale comincia a subentrare un certo effetto sfocatura, i dettagli risultano impastati, la luminosità globale decresce.

Il limite all'ingrandimento può essere meglio visualizzato ingrandendo l'immagine di una sorgente considerata puntiforme, quale quella di una stella.

Ogni stella è troppo lontana per essere risolta dagli strumenti amatoriali, ne consegue che essa dovrebbe sempre apparire come un punto senza dimensioni. Quando si raggiunge l'ingrandimento massimo utile, invece, qualsiasi sorgente puntiforme comincia a mostrare un certo diametro, una forma sempre uguale. Questa particolare figura è detta figura di diffrazione e dipende dalle leggi dell'ottica, non dalla forma della sorgente.

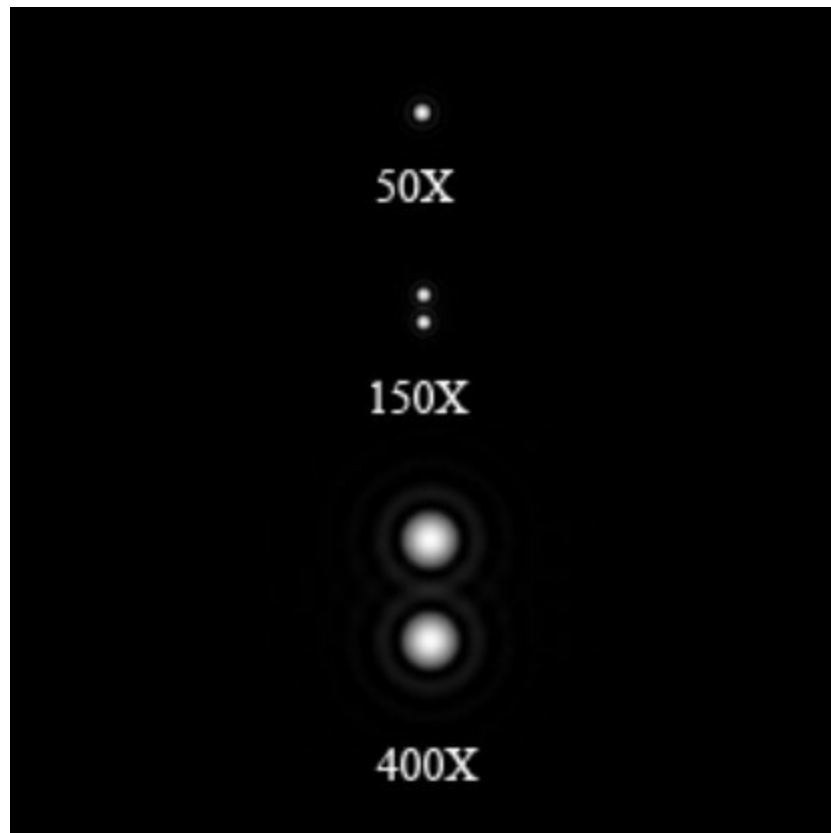
La parte principale della figura di diffrazione è il disco di Airy, una macchia centrale circondata da un anello. Questa figura non ha nulla a che vedere con la forma reale della sorgente, ma nasce naturalmente quando la luce entra in un'apertura (telescopio, occhio umano).

È proprio questo effetto a determinare il potere risolutivo di ogni strumento ottico.

Quando ingrandiamo troppo l'immagine, ai dettagli reali si sovrappone la figura di diffrazione: essa rappresenta la dimensione apparente più piccola che può mostrare ogni strumento; nessun dettaglio di dimensioni minori verrà riprodotto.

Ingrandendo ulteriormente, si ingrandisce la figura di diffrazione e si spalmano i dettagli su una superficie maggiore, ma senza aumentare il potere risolutivo. La conseguenza è un'immagine sfocata.

L'ingrandimento, quindi, non è una quantità che determina la

qualità e la potenza di un telescopio, in nessun caso. Solamente il diametro dello strumento e il modo con cui sono state fabbricate le ottiche determinano le prestazioni di un telescopio.

L'ingrandimento permette all'occhio di sfruttare tutto il potere risolutivo dello strumento. In questa simulazione di una stella doppia, l'ingrandimento di 400X per un telescopio di 100 mm è troppo elevato e non mostra più dettagli di quello a 150X.

Come osservare e ingrandire le immagini

L'ingrandimento delle immagini astronomiche si ottiene, come già accennato, inserendo in un apposito alloggio detto portaoculari un accessorio chiamato oculare.

L'oculare è costituito da un gruppo di lenti. Semplificando un po', possiamo considerare un oculare alla stregua di una potentissima lente di ingrandimento, in grado di ingrandire e rendere visibile all'occhio umano l'immagine che ogni obiettivo di un telescopio forma sul piano focale.

Il portaoculari di ogni strumento è dotato anche di un dispositivo per variare la distanza dell'oculare dal fuoco, detto focheggiatore o fuocheggiatore.

Il focheggiatore si aziona semplicemente muovendo una o due manopole ed è fondamentale nel ricercare il punto di messa a fuoco. La messa a fuoco così progettata è in grado anche di compensare eventuali difetti visivi quali miopia, ipermetropia, presbiopia, rendendo di fatto superfluo l'uso degli occhiali durante le osservazioni astronomiche. Gli occhiali o le lenti a contatto sono necessarie durante l'osservazione solamente se soffrite di astigmatismo, un difetto visivo che nessun dispositivo di messa a fuoco può compensare adeguatamente.

Ogni oculare, a prescindere dal tipo di configurazione ottica che adotta, come ogni gruppo di lenti è contraddistinto da una propria lunghezza focale, generalmente variabile tra 4 e 40 millimetri. La lunghezza focale di ogni oculare, generalmente fissa, è fondamentale, perché assieme alla lunghezza focale del telescopio nel quale si inserisce determina l'ingrandimento dell'immagine.

La relazione per determinare l'ingrandimento è molto

semplice:

I = Ftel/Foc

L'ingrandimento è dato quindi dal rapporto tra la focale del telescopio e quella dell'oculare utilizzato.

Vediamo un esempio semplicissimo: se utilizziamo uno strumento con una focale di 1000 millimetri (1 metro) in accoppiata a un oculare dalla focale di 10 millimetri, otteniamo un ingrandimento pari a 1000/10 = 100. L'ingrandimento di solito si esprime in questa forma: 100X, e si legge "100 per".

Tutti gli oculari possono essere adattati al proprio telescopio, o viceversa, un oculare può essere usato con ogni strumento, l'importante è il diametro del barilotto, che deve coincidere con il diametro dell'alloggiamento del portaoculari del telescopio.

Gli standard in circolazione sono sostanzialmente due: diametro da 31,8 millimetri e da 50,8 millimetri. Il primo è utilizzato in quasi tutti i telescopi economici, il secondo per strumenti più impegnativi.

Visto che l'ingrandimento è determinato anche dalla focale dell'oculare scelto, ora abbiamo capito perché ogni telescopio può raggiungere teoricamente qualsiasi valore; basta semplicemente scegliere oculari dalla focale adeguata.

Ricordatevi sempre, però, che l'ingrandimento massimo che è possibile realmente sfruttare è, nel caso in cui le condizioni atmosferiche lo permettano, 2,5 volte il diametro dell'obiettivo espresso in millimetri. Questo valore può sembrare limitante, ma tenete presente che tutti i pianeti vi appariranno già grandi e tutti gli oggetti del cielo profondo vengono osservati al meglio con ingrandimenti modesti, perché di dimensioni apparenti cospicue, spesso superiori a quelle della Luna piena.

In effetti, l'ingrandimento massimo di un telescopio è una

caratteristica che nella maggioranza delle osservazioni non viene neanche presa in considerazione!

Il rapporto focale

Un telescopio astronomico è fondamentalmente un grande obiettivo fotografico quando non viene usato in accoppiata agli oculari.

Come per ogni obiettivo, esiste una grandezza che ne caratterizza la luminosità. Il rapporto tra la lunghezza focale (F) e il diametro (D) fornisce quello che si chiama rapporto focale (f). Un rapporto focale basso, pari ad f4-5, indica uno strumento molto luminoso; viceversa, un valore superiore ad f10 indica uno strumento poco luminoso.

Rapporti focale compresi tra f6 ed f9 identificano strumenti di media luminosità.

La luminosità di un telescopio non è in realtà una caratteristica che ne identifica direttamente le proprietà. Visto che l'occhio umano ha bisogno di un oculare per restituire un'immagine che può osservare, non importa quanto è luminoso uno strumento, visto che l'ingrandimento resterà sempre lo stesso.

A parità di diametro, uno strumento con rapporto focale di f4 e uno chiuso ad f11 presentano all'osservazione la stessa luminosità, determinata dall'ingrandimento o dal tipo di oculare.

Il rapporto focale è importante in fotografia, perché uno strumento con rapporto focale basso, ovvero molto aperto (f4 tipicamente), riesce a raggiungere una profondità dell'immagine maggiore di uno strumento chiuso a f10, a parità di tempo di esposizione.

Nell'osservazione visuale, il rapporto focale è importante perché può darci indicazioni sulla qualità ottica dello strumento,

sulla presenza di eventuali aberrazioni e sulla comodità di osservazione.

Uno specchio dal rapporto focale aperto, o anche veloce, come può essere un f4, richiede una lavorazione molto più attenta di uno stesso specchio lavorato ad f7. Nell'attuale produzione commerciale questo può significare che uno strumento più chiuso ha una qualità ottica mediamente superiore rispetto a uno aperto, percepibile sulle osservazioni planetarie e lunari in alta risoluzione.

A prescindere dalla qualità della lavorazione, alcune aberrazioni conseguenza delle leggi dell'ottica sono funzione diretta del rapporto focale, come l'aberrazione cromatica delle lenti, maggiormente visibile quanto più è luminoso l'obiettivo, e la coma, visibile appena fuori dal campo in strumenti, specialmente a specchio, molto luminosi.

Vi è poi il fattore che riguarda la comodità di osservazione.

A prescindere da discorsi qualitativi e ottici, se vogliamo dedicarci prevalentemente all'osservazione dei pianeti dovremo usare spesso ingrandimenti vicini a quelli massimi consentiti dallo strumento.

Se il nostro telescopio ha un diametro di 200 mm, spesso lavoreremo a circa 400 ingrandimenti o più. Se la focale originaria dello strumento è di appena 800 mm, per raggiungere i 400 ingrandimenti mi serve un oculare da appena 2 mm di focale; se lo strumento ha una focale di 2000 mm, allora serve un oculare da 5 mm. Ammesso che un oculare da 2 mm di focale esista, l'osservazione sarebbe a dir poco impervia, visto che minore è la lunghezza focale dell'oculare, più piccolo è il campo e più vicino si deve stare con l'occhio alla lente. Un oculare da 5 millimetri invece consente ancora una discreta comodità di osservazione.

Questo esempio vuole farvi capire che se il vostro campo preferito sono i pianeti e tutti gli oggetti luminosi da osservare in alta risoluzione (Luna, Sole, stelle doppie), allora è meglio scegliere uno strumento dalla focale lunga, quindi con un rapporto focale elevato, che consente di raggiungere alti ingrandimenti più facilmente e più comodamente. Uno strumento dalla lunga focale è inoltre più facile da lavorare e contiene meno aberrazioni intrinseche, rivelandosi, di fatto, specializzato proprio in questo tipo di osservazioni (soprattutto i riflettori Cassegrain e i rifrattori a partire da rapporti focale oltre f10). Viceversa, se volete osservare gli oggetti del cielo profondo, per i quali sono necessari bassi ingrandimenti (mai oltre le 150-200 volte), gli strumenti aperti sono più indicati perché generalmente meno ingombranti, più economici e con la possibilità di avere modesti ingrandimenti (anche 30-50X) necessari per le osservazioni, molto difficili da ottenere, ad esempio con il solito strumento da 200 mm di diametro e 2000 di focale (servirebbe un oculare da 50 mm di focale, ma esiste?).

Servendosi dell'esperienza di molti astrofili è possibile dare delle indicazioni di massima in merito alle configurazioni ottiche più adatte per l'osservazione del cielo:

- I telescopi a lenti economici, detti rifrattori acromatici, devono avere un rapporto focale chiuso per dare il meglio di se stessi, tipicamente maggiore di f8. Questi strumenti risultano quindi piuttosto lunghi e limitati a piccoli diametri (di solito inferiori a 150 mm) e sono generalmente consigliati per l'osservazione di pianeti e stelle doppie, ovvero per applicazioni in alta risoluzione.
- Strumenti a specchio, come i telescopi

Newton, hanno invece diametri più generosi, a parità di prezzo, e sono costruiti con rapporti focale spesso molto aperti (f4-5). Data la difficoltà di lavorare specchi così “spinti” al limite imposto dalle leggi dell’ottica, essi non sempre permettono di raggiungere il limite di risoluzione teorico e sono quindi maggiormente adatti per osservazioni a ingrandimenti più modesti, come quelle degli oggetti del cielo profondo, per i quali è richiesta una grande quantità di luce raccolta e non elevato potere risolutivo.

- Telescopi a specchi (o lenti e specchi) con rapporti focale compresi tra f6 ed f10 sono considerati universali: la qualità ottica raggiungibile dalla produzione commerciale è buona per le osservazioni in alta risoluzione. Essi hanno una buona luminosità per eventuali applicazioni fotografiche e diametri generalmente adatti all’osservazione degli oggetti del cielo profondo.

La qualità ottica

Le considerazioni fatte in merito alle grandezze che descrivono le prestazioni di uno strumento non prendono in considerazione una variabile importantissima, che abbiamo avuto modo di introdurre nelle pagine precedenti dedicate al rapporto focale: la qualità con cui vengono costruite le ottiche dei telescopi commerciali.

L'esperienza di alcuni astrofili ci ha permesso di cominciare a identificare strumenti maggiormente adatti alle osservazioni planetarie, quindi in alta risoluzione, e quelli, generalmente riflettori molto aperti, maggiormente adatti alle osservazioni a bassi ingrandimenti degli oggetti del cielo profondo.

In questo paragrafo affrontiamo in modo più diretto proprio l'importanza della qualità delle ottiche.

La potenza di ogni strumento è nel diametro, che identifica la quantità di luce raccolta e il potere risolutivo.

Questo dal punto di vista teorico. Dal lato pratico è necessario che la luce sia raccolta nel modo giusto, ovvero non subisca modificazioni rispetto alla realtà.

Appare evidente infatti, che se un telescopio ha un diametro generoso, ma non è stato costruito con le precisioni richieste dalle leggi dell'ottica, le grandezze associate al suo diametro non corrisponderanno alle prestazioni reali.

Quando un telescopio è costruito con una precisione sufficiente per fornire le prestazioni calcolate teoricamente, allora si dice che abbiamo a disposizione uno strumento limitato dalla diffrazione, in inglese diffraction limited.

Uno strumento costruito al limite della diffrazione (diffraction limited) mostra una inconfondibile figura quando si inquadra una sorgente puntiforme (una stella) ad alti ingrandimenti. La macchia centrale prende il nome di disco di Airy. Questa è la figura reale di un ottimo strumento da 235 mm.

Costruire uno strumento in grado di fornire le prestazioni teoriche non è però semplice. Pensate che lo specchio o le lenti che formano l'obiettivo devono essere lavorate con una precisione di qualche miliardesimo di metro, un'unità di misura decine di volte più piccola del diametro di un capello umano!

Costruire ottiche con questa precisione implica un grande sforzo lavorativo, che al consumatore si manifesta con un costo non trascurabile.

Purtroppo questa è una regola generale in astronomia: ogni telescopio è uno strumento ottico di altissima precisione, che richiede molta cura nella sua produzione e che quindi presenta un costo piuttosto elevato. La qualità in astronomia si paga, sempre; a volte avere un miglioramento qualitativo di pochi punti percentuali implica un prezzo svariate volte superiore.

Detto questo, anticipo la risposta a una domanda che forse qualcuno si è già posto o si porrà: è possibile costruire un telescopio con una lente di ingrandimento, oppure con uno

specchio concavo come quelli che spesso usano le donne per truccarsi?

In linea teorica la forma di questi elementi è adatta a focalizzare la luce, quindi si potrebbero comportare come un obiettivo di un telescopio. Il problema è la qualità della lavorazione.

Una lente di ingrandimento, o uno specchio da barba, non sono lavorati con le precisioni richieste per avere immagini telescopiche anche solamente sufficienti. L'effetto è molto evidente con questi specchi estetici che ingrandiscono l'immagine: spesso il vostro viso appare deformato, sintomo che la precisione con cui è stato fabbricato è almeno 1000 volte lontana da quella necessaria per un telescopio astronomico.

Se comunque volete provare a costruire uno strumento così fatto e verificare quanto vi è stato detto, fatelo: sperimentare è sempre il modo migliore per imparare, a prescindere dal risultato dell'esperimento. Personalmente quando ero bambino ho provato a costruire un telescopio a specchi (riflettore newtoniano) usando come obiettivo lo specchio che mia madre usava per truccarsi. Il risultato è stato molto mediocre, ma anche didatticamente valido: alla fine sono riuscito anche a osservare i satelliti di Giove e qualche cratere lunare, ma la qualità ottica era davvero pessima e ben lontana dai limiti teorici associati al diametro di quello specchio (150 mm). In ogni caso, a volte sbagliare sperimentando è la via migliore per imparare.

Esperimenti a parte, da questa esperienza si capisce perché uno specchio concavo "estetico" ha un costo di qualche euro, mentre uno stesso specchio per telescopi può costare oltre 20 volte di più.

In ambienti più tecnici, si è soliti esprimere la bontà della

lavorazione ottica di uno specchio o una lente in frazioni di lunghezza d’onda, utilizzando due termini: RMS e PV. Il primo è l’abbreviazione inglese di Root Mean Square, letteralmente radice quadratica media e fornisce il valore medio con cui l’elemento ottico è stato lavorato. Il secondo, più interessante, significa Picco – Valle e cerca di quantificare l’errore massimo commesso nella lavorazione. I due valori non sempre vanno in accordo, quindi bisogna stare sempre attenti. Uno specchio lavorato alla precisione media di 1/20 di lunghezza d’onda (1/20 λ) può sembrare perfetto, ma il valore medio non dice nulla sui singoli punti della superficie ottica. Il 99% dell’elemento potrebbe essere lavorato a 1/40 λ mentre il restante presentare addirittura un aculeo sporgente che mette a repentaglio le osservazioni! È per questo motivo che l’errore PV è il più indicativo sulla qualità, perché identifica il più grande errore commesso.

Tutto chiaro, spero; ma ora si potrebbe chiedere: qual è la qualità ottica minima affinché un telescopio sia considerato accettabile? Semplice: almeno ¼ λ di errore massimo, quindi PV.

Sembrerebbe semplice, ma in realtà non è così, almeno non per gli specchi. Senza scendere troppo nei dettagli, la riflessione della luce provoca il raddoppio dell’errore di lavorazione. In questo caso, quindi, deve essere specificato se l’errore Picco – Valle è riferito alla superficie dello specchio o a quello che si chiama fronte d’onda. Se fosse riferito alla superficie, diventerebbe automaticamente ½ λ sul fronte d’onda, ovvero sull’immagine reale: inaccettabile.

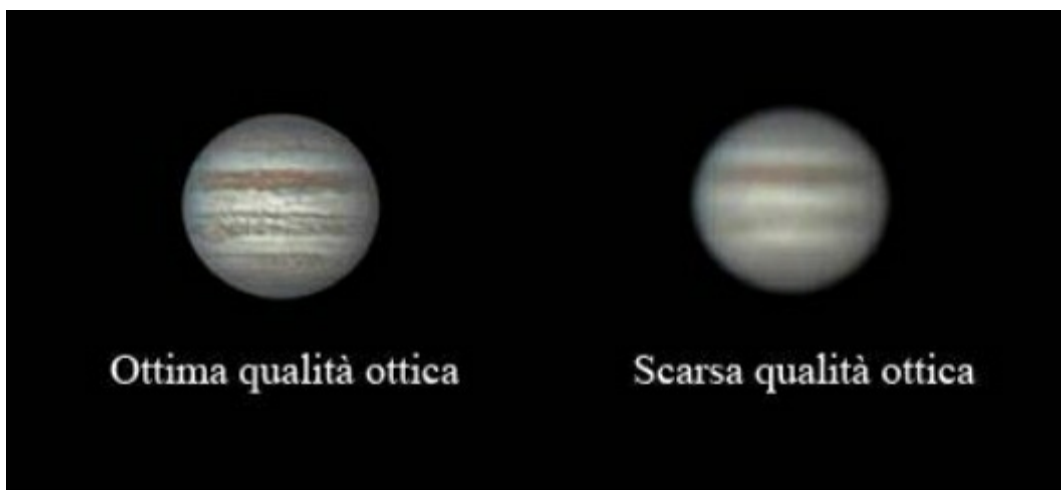
È quindi necessario che ogni specchio di un telescopio, sia il primario che il secondario, sia lavorato con una precisione PV di ¼ λ sul fronte d’onda, o, in alternativa, di 1/8 λ sulla superficie.

Di solito i valori, forniti solamente per strumenti di fascia medio-alta, si riferiscono sempre al fronte d'onda.

Tutto questo, forse, è superfluo a questo punto del nostro apprendistato, anche perché tutti i telescopi per principianti venduti dalle più blasonate marche soddisfano, tranne evidenti e rari errori di fabbricazione, questi requisiti.

Abbiamo comunque capito che se distinguere la differenza di qualità tra uno specchio da barba e uno per telescopi è facile, non è altrettanto immediato riconoscere quale telescopio è fabbricato con ottiche adeguatamente lavorate e quale no, se non abbiamo una certificazione proveniente dal produttore.

L'arma migliore che abbiamo per capire se un telescopio potrebbe avere (attenzione, il condizionale è fondamentale) una qualità ottica adeguata alle osservazioni astronomiche è proprio il prezzo. Non bisogna farsi incantare da apparenti offerte: chi vi offre telescopi astronomici a prezzi stracciati rispetto alla quasi totalità delle altre marche, vi sta semplicemente vendendo un giocattolo, spesso del tutto inadatto per ogni osservazione astronomica.

Un ottimo esempio di telescopi che NON dovete mai comprare si trova su E-bay, popolare sito per la vendita di oggetti online. Una marca in particolare (Seben) cerca di presentarvi prodotti professionali attraverso descrizioni condite di parole incomprensibili e spesso inesatte, il tutto affiancato da prezzi inferiori di oltre la metà rispetto ai telescopi presenti sul mercato. Io non vi consiglierei mai di prendere uno strumento del genere. Torneremo su questo argomento nel paragrafo dedicato alla scelta del primo telescopio.

Un telescopio dalla scarsa qualità ottica è completamente inutilizzabile per ogni osservazione. La qualità ha un prezzo, per questo diffidate sempre dalle offerte troppo vantaggiose, affidandovi sempre a marche e rivenditori fidati.

Costellazioni

Questa rubrica è tratta dal libro: “La mia prima guida del cielo”.

Se avete un telescopio, magari da poco tempo, e volete cercare degli oggetti che non sapete come trovare, questa è la

sezione che fa per voi.

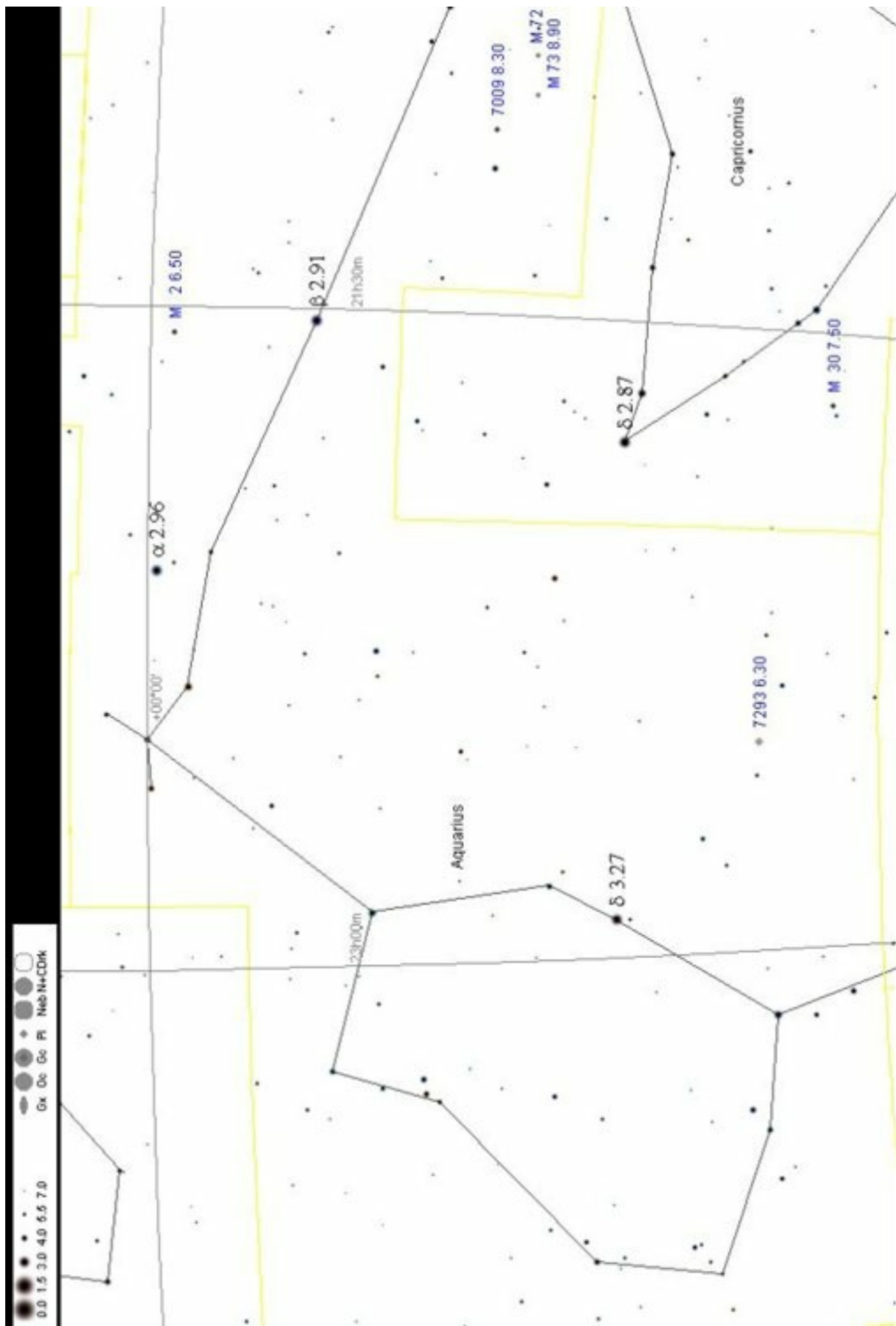
Ogni mese, compatibilmente con il periodo dell'anno in cui verrà rilasciato il nuovo numero, troverete uno zoom su due costellazioni interessanti, con una mappa contenente stelle fino alla magnitudine 7 e oggetti fino alla magnitudine 11, una breve descrizione, un cenno ai racconti mitologici (qualora presenti) e una lista, completa di immagini e disegni, degli oggetti del cielo profondo più facili da osservare.

Tutti gli oggetti deep-sky elencati sono alla portata anche di un piccolo strumento da 10 centimetri di diametro, e se avete una buona vista e un cielo scuro anche di un classico binocolo 10X50.

Non troverete immagini professionali, ma spesso disegni effettuati da altri osservatori con telescopi amatoriali. In questo modo spero di evitarvi il pericolo più grande dell'astronomia pratica: creare false aspettative.

L'osservazione visuale, infatti, non è neanche lontana parente della fotografia astronomica, in particolare per quanto riguarda i colori, invisibili quasi completamente con qualsiasi telescopio si osservi. Ma l'idea di poter osservare con i propri occhi, attraverso il proprio strumento, e quasi toccare quell'indistinto batuffoletto irregolare, che in realtà è un oggetto reale, posto a distanze inimmaginabili e di dimensioni inconcepibili appartenente a un Universo meravigliosamente perfetto, regala una soddisfazione che nessuna macchina fotografica o schermo di computer potranno mai regalare, né ora, né mai.

Aquarius – Acquario	In meridiano alle 22 del 20 Settembre

Aquarius
Capricornus
M 2 6.50
M 30 7.50
7293 6.30
7009 8.30
M 73 8.90

Descrizione

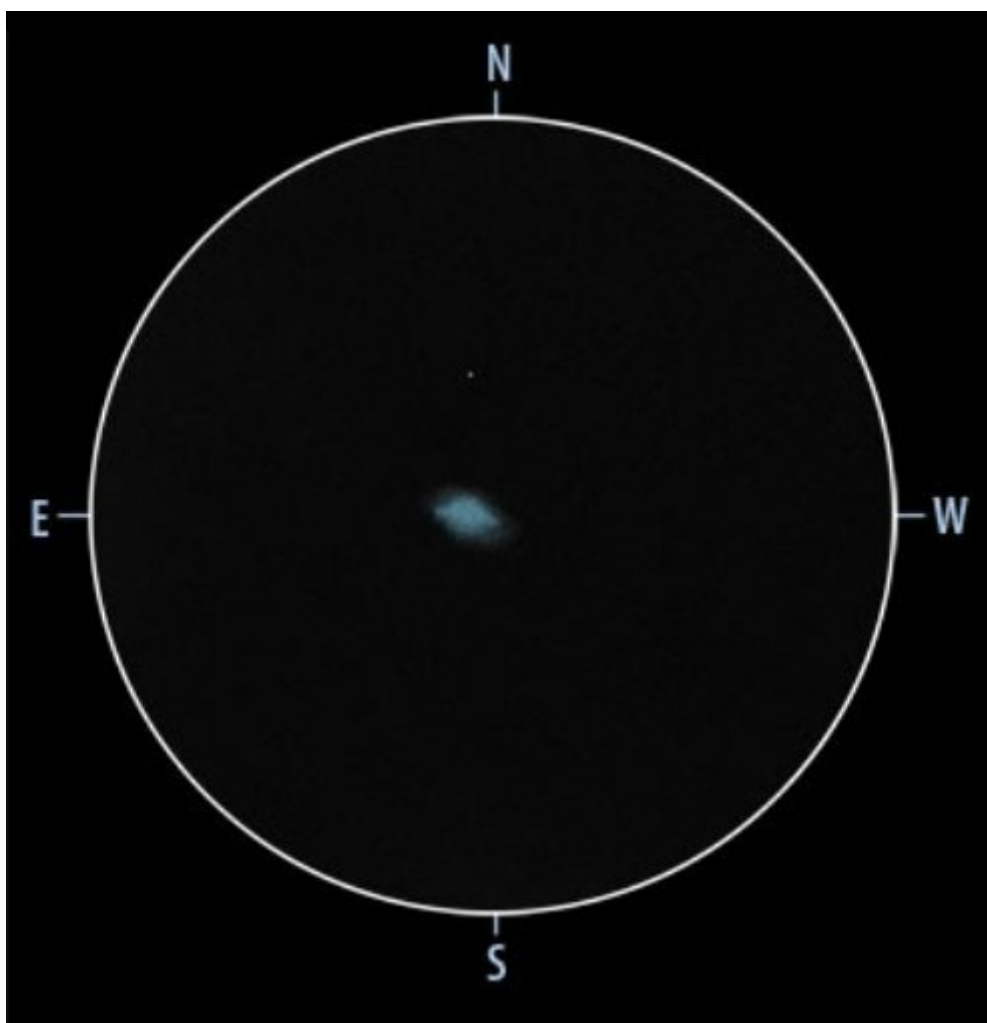
Costellazione le cui origini sono da far risalire all'antica Babilonia (l'attuale Iraq). La sua collocazione nel cielo, infatti, è proprio vicino ad animali tipicamente acquatici, come il Pesce, il Delfino e il Pesce Australe. Nella mitologia greca la figura dell'acquario viene associata spesso a Zeus, il re degli dei, il quale consente all'acqua di sgorgare dal cielo e di mantenere la vita sulla Terra.

Oggetti principali

M2: Luminoso ammasso globulare esteso metà del diametro lunare. Avvistabile con qualsiasi binocolo, come ogni globulare dà il meglio di sé con un telescopio da almeno 150 mm e 100 ingrandimenti. Un simile strumento consente di risolvere le singole stelle, conferendo all'oggetto un aspetto stellare davvero suggestivo. Strumenti di diametro inferiore mostrano semplicemente una condensazione indistinta e debole.

NGC7009: Soprannominata nebulosa Saturno, è una piccola planetaria che ricorda vagamente il pianeta con gli anelli. Come ogni planetaria ha una luminosità superficiale abbastanza elevata, tanto da poter essere osservata anche con strumenti di modesto diametro come rifrattori da 80-90 mm, a patto di usare almeno 70-80 ingrandimenti necessari per notare la sua forma estesa poche decine di secondi d'arco.

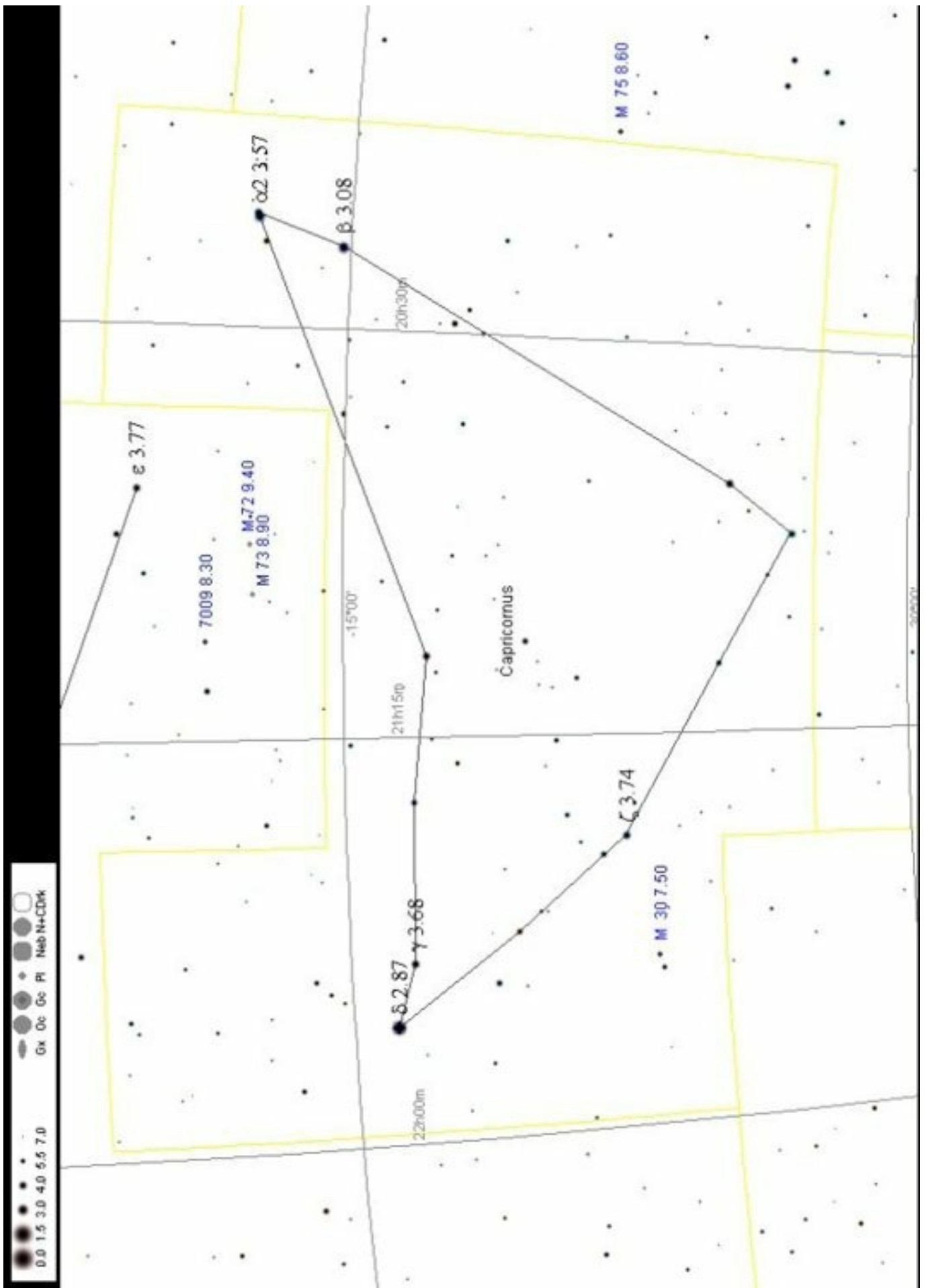
NGC7293: La nebulosa Helix è la planetaria a noi più vicina e più brillante. Sfortunatamente la sua immagine si espande su un'area estesa quasi quanto il diametro apparente della Luna piena ed è per questo difficilissima da osservare. Unica possibilità: un cielo nerissimo e un binocolo da almeno 50 mm o un telescopio utilizzato a bassi ingrandimenti (non oltre le 40 volte).

L'ammasso globulare M2 è facile da osservare con ogni telescopio.

Disegno della nebulosa Saturno eseguito all'oculare di un telescopio da

200 mm a 150 ingrandimenti.

La magnifica nebulosa Helix è la planetaria a noi più vicina e luminosa, ma difficilissima da osservare perché di bassissima luminosità superficiale.

Capricornus – Capricorno	In meridiano alle 22 del 1 Settembre

0.0 1.5 3.0 4.0 5.5 7.0
Gx Oc Gc Pl Neb N+CDrk
ε 3.77
7009 8.30
M 72 9.40
M 73 8.90
α2 3.57
β 3.08
-15°00'
δ 2.87
γ 3.68
22h00m
21h15m
20h30m
Capricornus
ζ 3.74
M 30 7.50
M 75 8.60

Descrizione

Il Capricorno è sostanzialmente una Capra.

Questa figura in cielo venne identificata come tale già dagli antichi Babilonesi. Gli antichi Greci avevano attribuito a questa capra una coda di pesce. L'origine di questa particolare figura è probabilmente da attribuire all'identificazione con il dio Pan. Un giorno il dio, mentre cercava di sfuggire al mostro Tifone, scivolò nel fiume Nilo. La parte del corpo che si immerse nelle acque assunse la forma di un pesce, mentre il resto rimase immutato (a forma di capra).

Si tratta di una delle 12 (in teoria 13) costellazioni zodiacali, nella quale, migliaia di anni fa, il Sole raggiungeva il punto più basso nel suo percorso annuale nel giorno del solstizio d'inverno. A causa della precessione degli equinozi questo punto viene ora raggiunto nella vicina costellazione del Sagittario.

Si tratta di una costellazione molto ampia, formata da stelle deboli, quindi difficile da delineare perfettamente nel cielo. Inoltre è posta a declinazioni piuttosto negative, risultando sempre abbastanza bassa sull'orizzonte. È situata ad est del Sagittario, in una zona povera di stelle, quindi anche di oggetti galattici.

Oggetti principali

M30: Unico oggetto degno di nota; si tratta di un ammasso globulare un po' debole (magnitudine 7,50) con un centro estremamente denso. Osservabile, a fatica, con i classici binocoli da 50 mm, si rivela evidente con ogni telescopio. Le sue stelle più luminose sono di magnitudine 12, quindi alla portata, seppure un po' al limite se non si ha un cielo perfetto, di strumenti a partire dai 150 mm.

Tenendo conto della bassa altezza sull'orizzonte e del conseguente assorbimento causato dall'atmosfera terrestre, questo ammasso, visto dall'Italia, è come se fosse almeno mezza magnitudine più debole (di più se si osserva dalla pianura, dove l'assorbimento atmosferico è notevole per oggetti bassi).

Astrofotografia

Questa classica sezione sarà il contenitore nel quale convoglieranno preziosi consigli su come intraprendere la difficile ma estremamente appagante strada della fotografia astronomica.

Inizieremo dal basso, da alcune semplici applicazioni, per poi giungere, insieme, alle tecniche necessarie per ottenere le splendide immagini che è possibile ammirare in rete.

Se volete approfondire vi consiglio il libro: "Tecniche, trucchi e segreti dell'imaging planetario" per la fotografia dei pianeti, o: "Tecniche, trucchi e segreti della fotografia astronomica" per riprendere nebulose, galassie e ammassi stellari, con o senza telescopio.

Imaging planetario: preparare il setup

Per far funzionare lo strumento al meglio delle proprie possibilità e ottenere le splendide immagini che abbiamo sempre sognato, dobbiamo prestare attenzione a delle variabili che nell'osservazione visuale non sono poi così fondamentali. Ma in questi casi non dobbiamo lasciare nulla al caso: collimazione, acclimatamento, posizione corretta, come battere il seeing ed evitare le vibrazioni fanno la differenza tra una brutta ripresa e una da copertina.

Contrariamente all'altra branca della fotografia astronomica che prende in esame gli oggetti del cielo profondo, nel caso dell'alta risoluzione tutti i telescopi possono essere utilizzati almeno per effettuare le prime prove e capire con e proprie forze quali sono le difficoltà da superare.

Anche uno strumento piccolissimo e traballante da 60 mm di diametro su una montatura equatoriale motorizzata solamente nell'asse di ascensione retta è sufficiente per iniziare a prendere confidenza con molte problematiche relative alla preparazione, alla ripresa ed elaborazione.

In questo paragrafo ci concentriamo sulle attenzioni necessarie per far funzionare nel modo migliore il nostro strumento e magari capiremo che comprarne uno enorme per poter vedere di meglio potrebbe non essere la scelta migliore se siamo agli inizi.

Se ci accontentiamo di una fugace osservazione attraverso l'oculare, ogni telescopio è quasi sempre pronto all'uso: basta portarlo fuori, stazionare la montatura (se di tipo equatoriale), accendere i motori, se ce ne sono, fare l'allineamento, se abbiamo

il GOTO e vogliamo usarlo, puntare, inserire un oculare e osservare.

I possessori di telescopi dobson devono solo montare lo strumento e osservare; di fatto in meno di 5 minuti si stanno godendo le meraviglie del cielo.

Nel caso delle riprese in alta risoluzione, le cose sono un po’ diverse, se si vogliono ottenere ottimi risultati e sfruttare in pieno il potenziale del proprio telescopio in termini di potere risolutivo.

La prima cosa che dobbiamo controllare, se disponiamo di uno strumento che utilizza specchi, è la collimazione, ovvero l’allineamento degli specchi.

Se questi sono disallineati anche di un solo millimetro il telescopio non lavorerà mai al massimo consentito dalle leggi dell’ottica, fornendo immagini sfocate e mal definite.

La collimazione, spesso vista con apprensione e addirittura terrore da parte di molti astrofili, si rivela invece la migliore alleata che possiamo avere nel raggiungimento della massima risoluzione offerta dallo strumento.

Volenti o nolenti dovremo imparare in breve tempo che questa fase dovrà essere ripetuta ogni volta in cui smontiamo il telescopio dalla montatura e spesso anche

La collimazione degli strumenti ottici

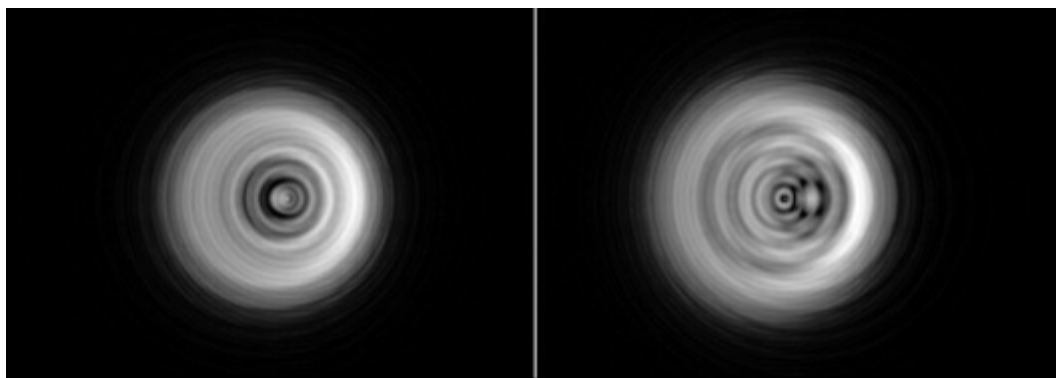
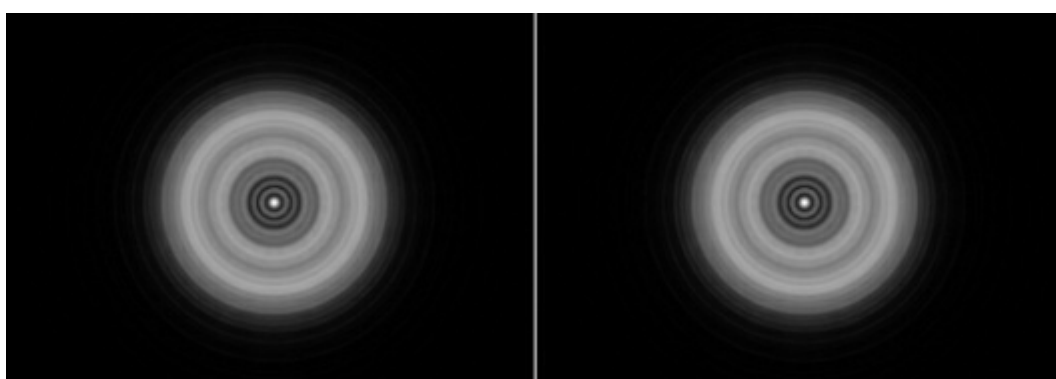
Nei paragrafi dedicati alla qualità delle ottiche abbiamo visto come ogni strumento dia il meglio di se in una regione del piano focale a cavallo dell'asse ottico.

In questa regione le aberrazioni extra-assiali, frutto naturale delle leggi dell'ottica, sono pressoché assenti e lo strumento, se costruito bene, sviluppa tutto il suo potenziale, in particolare il potere risolutivo.

Quando inseriamo un oculare per le osservazioni, la zona corrispondente all'asse ottico si trova al centro del campo inquadrato, se e solo se tutte le lenti e gli specchi sono perfettamente allineati.

Quando a causa di un disallineamento degli specchi o delle lenti l'asse ottico non è allineato con tutti gli elementi ottici (specchi, oculari, lenti), la zona inquadrata dall'oculare non coincide più con l'asse ottico e la qualità delle immagini cala vistosamente, soprattutto se siamo a ingrandimenti elevati e utilizziamo strumenti delicati, come i telescopi newtoniani molto aperti e tutti i catadiottrici.

In questo caso si parla di elementi ottici disallineati o di telescopio scollimato. Al centro del campo diventano visibili molte aberrazioni, tra le quali la più vistosa è sicuramente la coma.

Un'ottica scollimata presenta delle immagini in intra ed extrafocale asimmetriche:

Star test che rivela ottiche piuttosto scollimate. Le figure in intra ed extrafocale sono infatti asimmetriche. Affinché possiamo avere ottime immagini all’oculare, occorre collimare lo strumento: operazione delicata, ma piuttosto semplice e veloce.

Star test di un telescopio perfettamente collimato. Questo è l’obiettivo che ci dobbiamo prefiggere all’inizio di ogni osservazione astronomica, se utilizziamo catadiottrici o riflettori. Generalmente la collimazione non è possibile per molti rifrattori economici. I questi casi c’è solo da sperare che lo strumento sia e resti collimato.

Anche le immagini a fuoco di una sorgente puntiforme molto ingrandita sono strane. Ad alti ingrandimenti, infatti, ogni sorgente puntiforme deve mostrare la classica figura di diffrazione, con il disco di Airy ben definito e simmetrico.

Se il telescopio non è collimato, il disco di Airy appare deformato.

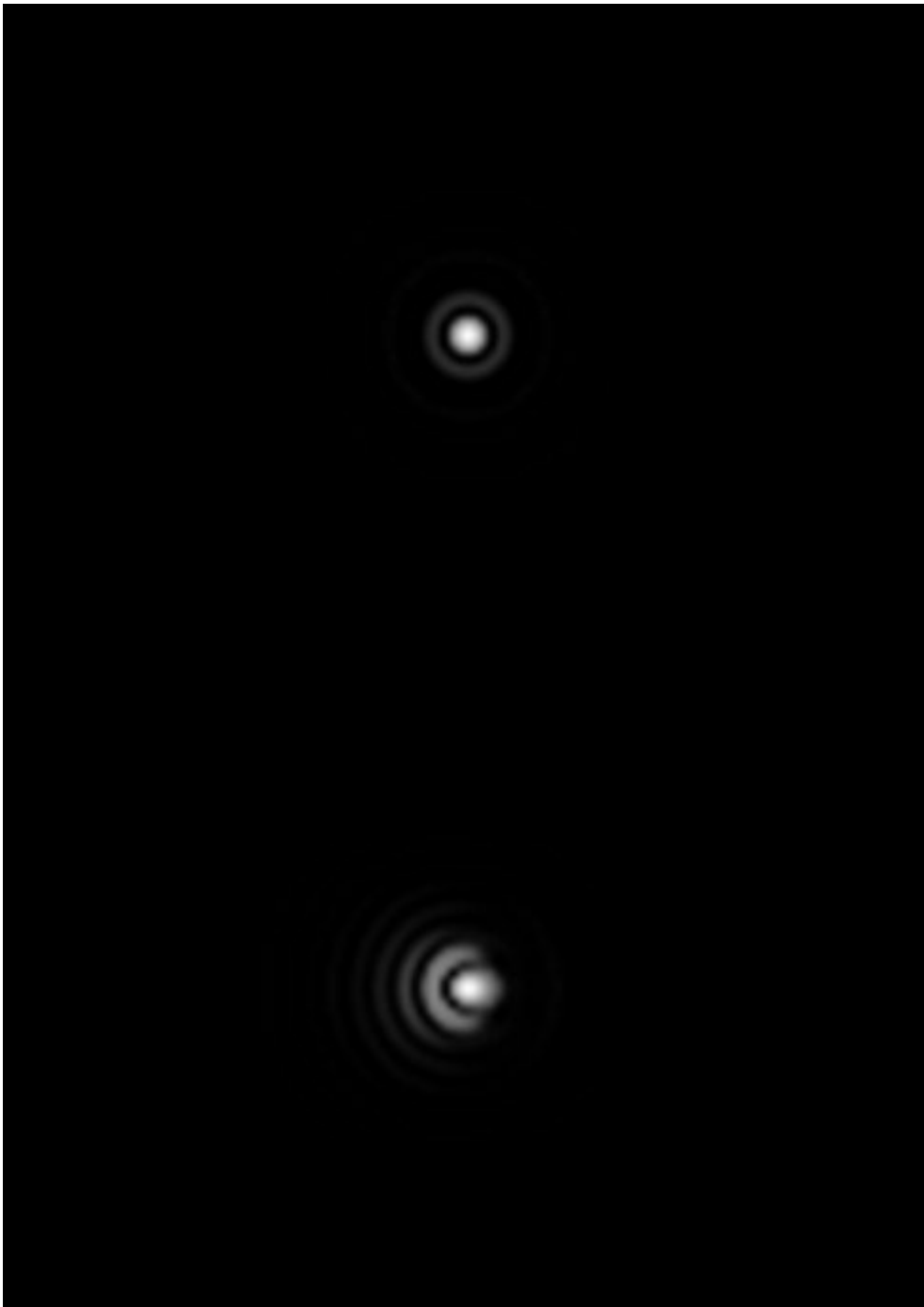



Immagine di diffrazione di una sorgente puntiforme (stella) a fuoco. In alto, il disco di Airy e il primo anello di diffrazione sono perfettamente simmetrici. In basso, la figura è deformata, rivelando un'evidente scollimazione.

Come possiamo vedere dalle figure, riconoscere un'eventuale scollimazione del proprio strumento è relativamente facile e veloce.

La scollimazione degli elementi ottici non è un difetto delle ottiche, ovvero non è un'aberrazione, ma è causata solamente dal

non perfetto allineamento di tutti gli elementi, sui quali l'astrofilo ha una grande libertà di movimento.

Tutti i telescopi devono essere collimati, a prescindere dalla loro configurazione ottica, e controllati periodicamente nel corso del tempo da parte dell'astrofilo.

Nel campo degli strumenti commerciali, tuttavia, solo i riflettori e alcuni catadiottrici hanno la possibilità da parte dell'osservatore di regolare la collimazione degli elementi ottici.

I rifrattori, a meno che non siano costosissimi apocromatici, non possono essere collimati. Questa non è una forte limitazione, poiché questi strumenti sono molto solidi ed è difficile che perdano l'allineamento, se sono stati progettati a dovere e se sono stati collimati perfettamente al momento dell'assemblaggio.

Quando collimare?

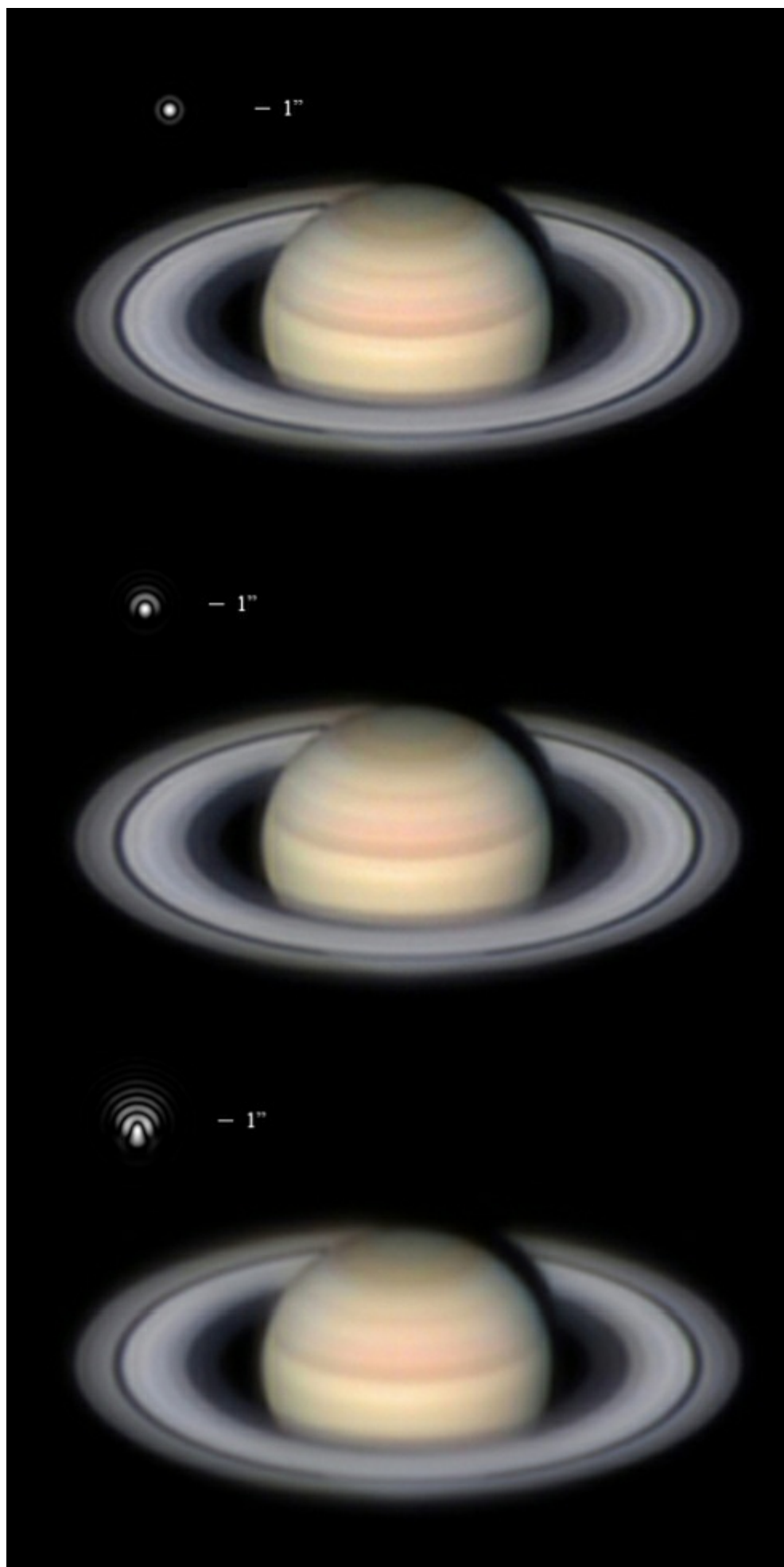
Ogni telescopio esce dalla casa produttrice con le ottiche perfettamente centrate (o almeno così dovrebbe essere!).

A causa del trasporto, di scosse e urti, anche piccoli, o semplicemente con il passare del tempo, il tubo ottico e i supporti degli specchi tendono ad allentarsi e deformarsi leggermente, facendo perdere la collimazione, soprattutto nel caso di riflettori molto aperti.

A meno che il telescopio non resti sempre montato in una postazione fissa, è fondamentale controllare la collimazione ogni volta si intende intraprendere una sessione di ripresa.

I danni di una collimazione, anche lieve, nelle riprese in alta risoluzione sono molto evidenti e potrebbero vanificare una serata di buon seeing. Con un po' di esperienza controllare e affinare la collimazione richiederà solamente qualche minuto, decisamente ben speso se l'alternativa è una sessione di ripresa da buttare.

Nel corso del tempo la collimazione va controllata in funzione di come ci si prende cura dello strumento e del tipo di osservazioni che si intende condurre.

In linea generale è meglio non sottoporre mai il tubo ottico a urti o sobbalzi di ogni genere. Nel caso di telescopi riflettori o catadiottrici, evitare di capovolgere il tubo ottico o di fargli fare movimenti improvvisi.

Confronto tra la resa di uno strumento in funzione della collimazione, in

condizioni di seeing perfetto. In alto: se tutti gli elementi ottici sono allineati correttamente, la figura di diffrazione è simmetrica con il disco di Airy centrale e gli anelli di diffrazione equamente illuminati. Al centro: Una piccola scollimazione si manifesta come un'asimmetria negli anelli di diffrazione a causa della comparsa di un'aberrazione extra-assiale, detta coma, che peggiora la qualità dell'immagine. In basso: una scollimazione molto evidente peggiora in modo drammatico la situazione. La resa in questo caso è paragonabile a quella di uno strumento perfetto dal diametro 2,5 volte inferiore. In ogni sessione di alta risoluzione è necessario controllare attentamente la collimazione dei propri strumenti.

Come si effettua una perfetta collimazione

L'allineamento degli elementi ottici è una fase fondamentale di ogni osservazione, spesso sottovalutata dall'astrofilo alle prime armi ed è fondamentale per le riprese in alta risoluzione.

Ogni configurazione ottica presenta delle fasi di allineamento diverse e particolari che sono descritte nel manuale fornito con lo strumento e non possono essere del tutto generalizzate. In ogni caso, la collimazione si effettua regolando l'orientazione degli specchi, ruotando delle viti adatte allo scopo, poste in prossimità degli elementi ottici, nelle celle che li contengono.

Prima di tutto, controlliamo ogni volta, prima di iniziare la sessione di imaging, lo stato effettivo della collimazione puntando una stella alta nel cielo e abbastanza luminosa, diciamo intorno alla magnitudine 1. Il telescopio deve essere acclimatato e non deve essere presente una turbolenza elevata.

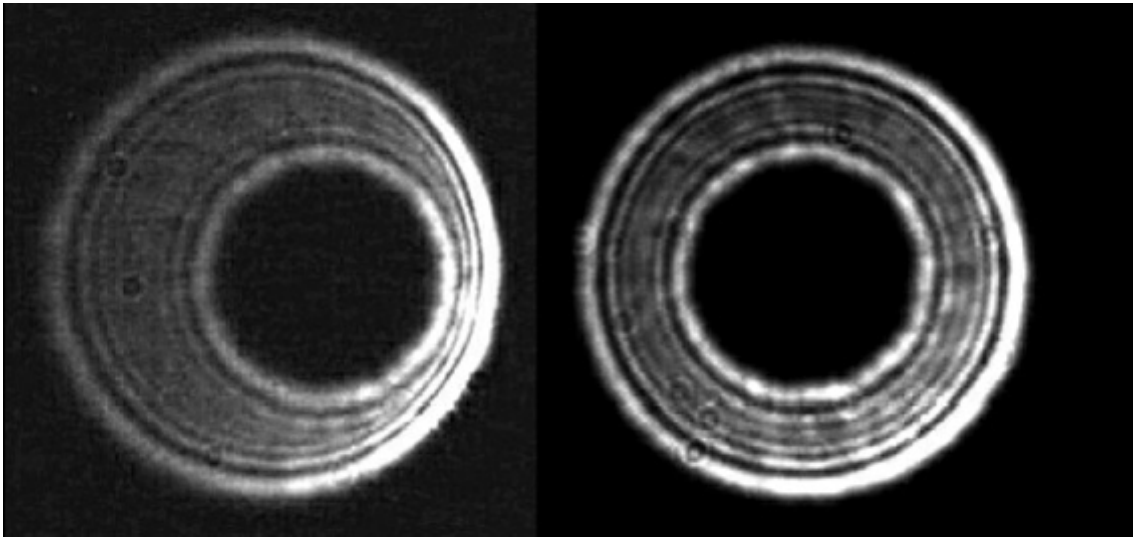
Non si devono verificare delle flessioni, altrimenti il risultato sarà falsato.

Sfochiamo la stella in modo vistoso, tanto da poter vedere e apprezzare bene gli anelli di diffrazione.

Analizziamo la figura: se è asimmetrica, anche di poco, allora lo strumento richiede una collimazione. Se è perfettamente simmetrica è collimato.

Lo scopo di ogni collimazione è far si che la figura di diffrazione risulti perfettamente simmetrica, sia in intrafocale che in extrafocale.

Per collimare lo strumento bisogna agire delicatamente su una delle viti che regolano la collimazione dello specchio primario o secondario, ruotarla di circa un quarto di giro e tornare poi all'oculare. Se la simmetria è migliorata allora continuiamo ad

agire sulla stessa vite fino a quando non risulterà perfetta.

A sinistra: figura sfocata di una stella che manifesta evidenti segni di scollimazione delle ottiche. A destra: il risultato di un'ottica collimata, ma forse non in modo sufficiente per l'imaging in alta risoluzione.

La prima fase della collimazione finisce quando la figura in intrafocale ed extrafocale è perfettamente simmetrica.

In realtà è molto raro che le immagini in intrafocale ed extrafocale siano simmetriche. Non di rado un allineamento perfetto sull'immagine in intrafocale non lo è altrettanto quando si osserva l'immagine in extrafocale. Questo è dovuto a piccole imprecisioni nell'assemblaggio dello strumento e purtroppo è più normale del previsto, specialmente in strumenti economici come Newton e Schmidt-Cassegrain. Se la differenza è piccola, questa leggerissima scollimazione permanente non pregiudica la ripresa, mentre se è evidente dobbiamo far controllare il vostro strumento perché probabilmente c'è stato un errore di fabbricazione che ha introdotto delle flessioni.

Effettuata la fase "grossolana" della collimazione, dobbiamo passare alla fase successiva che ci garantirà sicuramente un'ottima precisione, possibile solamente se la turbolenza

atmosferica è ridotta.

La seconda fase prevede di affinare l'allineamento osservando la stessa stella, ma questa volta a fuoco. È meglio inserire un oculare più potente in grado di dare un ingrandimento pari a 3 volte il diametro dello strumento. Portare la stella al centro del campo e mettetela a fuoco.

Se la turbolenza atmosferica non è troppo dannosa, come succede spesso per strumenti inferiori ai 200 mm, allora osserveremo la classica figura di diffrazione composta dal disco di Airy centrale e almeno un anello esterno, detto primo anello di diffrazione.

Se il disco di Airy e l'anello sono perfettamente simmetrici, allora la collimazione dello strumento è perfetta e non c'è alcun bisogno di andare avanti.

Se il disco di Airy presenta delle asimmetrie, allora dobbiamo affinare la collimazione cercando di fare in modo che il disco e l'anello di diffrazione risultino più simmetrici possibile.

A questo punto lo strumento è perfettamente collimato e in grado di dare tutto il potenziale in termini di potere risolutivo. Ma purtroppo questo accade solamente in teoria. Nella pratica, quando si inserisce il treno ottico necessario per le riprese è più frequente del previsto un lieve disassamento rispetto alla posizione che aveva l'oculare. Il risultato potrebbe essere frustrante: il telescopio potrebbe non essere infatti perfettamente collimato per la camera planetaria.

Questo effetto è da imputare ai materiali, di certo non di prim'ordine, con cui sono costruiti i tubi ottici, i focheggia tori e i raccordi tra il porta oculari e la camera di ripresa. A meno di non possedere uno strumento ottimizzato per l'alta risoluzione, il che equivale a dire un costo di diverse migliaia di euro, è

fondamentale effettuare la collimazione fine con lo stesso identico treno ottico con cui si intendono fare le riprese in alta risoluzione, possibilmente puntando una zona di cielo non troppo lontana da quella in cui si andranno a raccogliere le immagini.

Con questo stratagemma è possibile ovviare a tutti i difetti meccanici, spesso trascurati ma in questi casi fondamentali, che potrebbero rovinare pesantemente una ripresa potenzialmente eccellente.

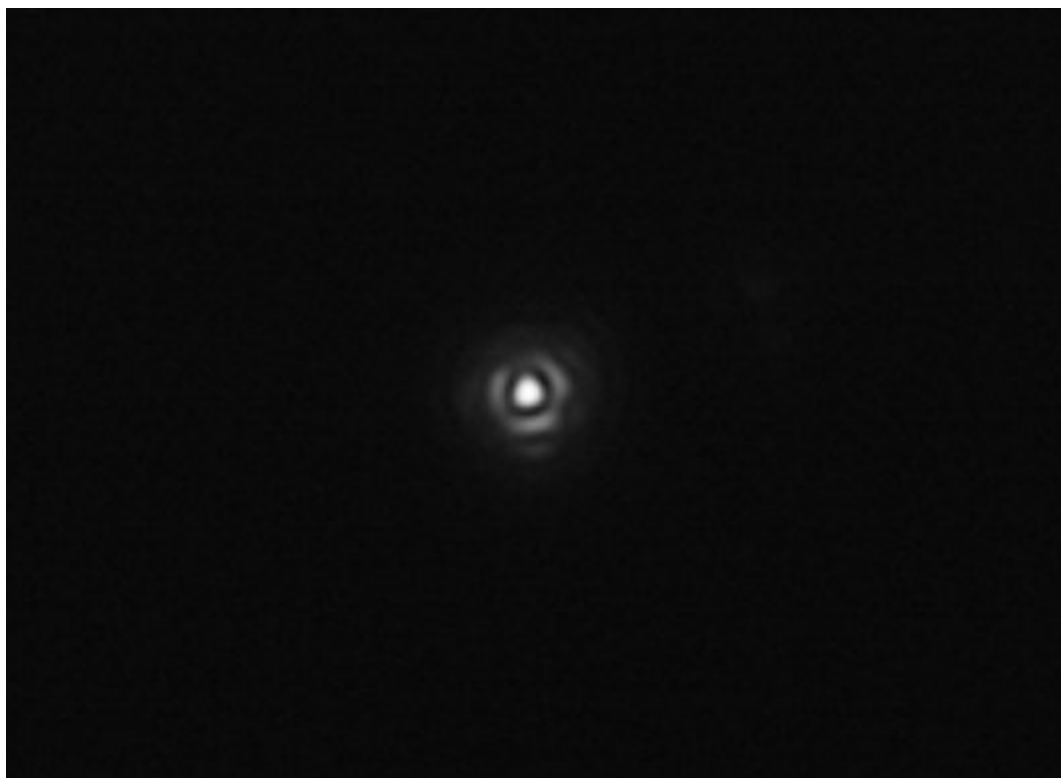
Con la giusta pratica e qualche semplice trucco, collimare osservando una stella sul monitor del PC, con la stessa focale di ripresa per i pianeti, è più semplice della collimazione a occhio, se non altro perché si ha sempre sott'occhio la stella mentre si agisce sulle viti di collimazione.

Il trucco migliore per riuscire a osservare distintamente il disco di Airy consiste nell'utilizzare un filtro passa infrarosso da almeno 700 nm e puntare una stella non più debole della magnitudine 2,5.

L'uso del filtro infrarosso è fondamentale per migliorare il seeing e aumentare contemporaneamente le dimensioni del disco di Airy.

Se anche in questo caso la figura di diffrazione a fuoco non è regolare ma disturbata dalla turbolenza atmosferica, consiglio di riprendere un video ad almeno 30 immagini al secondo con la stessa tecnica che vedremo per la ripresa dei pianeti, da elaborare. Le centinaia di frame che andranno a formare l'immagine finale restituiranno una figura di diffrazione molto più leggibile e faranno apprezzare anche piccolissime scollimazioni.

Se il seeing è veramente pessimo, al punto che neanche con un filtro passa infrarosso si riesce a vedere il disco di Airy a

monitor per brevi istanti, allora è inutile andare avanti con la collimazione, perché il collo di bottiglia, ovvero la variabile che determinerà la qualità dell'immagine in alta risoluzione, non è più l'allineamento degli specchi ma è determinata dalla turbolenza atmosferica. Riuscire a collimare, magari aiutandosi con una stella artificiale (meccanismo di dubbia utilità) è un buon esercizio per far pratica e ridurre i tempi ma non farà guadagnare alcunché in fase di ripresa. È un po' come cercare di mettere a punto il motore di una macchina che può andare a 200 km/h su un circuito pieno di curve e privo di rettilinei che non permette di superare mai i 150 km/h.

Una perfetta collimazione si effettua inserendo la camera di ripresa nella configurazione che andremo a utilizzare per le riprese in alta risoluzione, munita di un filtro passa infrarosso per migliorare il seeing e rendere meglio visibile il disco di Airy di una stella a fuoco di almeno seconda magnitudine. Nel caso di modesta turbolenza (figura in alto), si possono fare dei video da elaborare sommando qualche centinaio di frame, come per i pianeti, e dall'immagine risultante osservare lo stato della collimazione, come mostrato nella figura in basso, di cui quella a sinistra rappresenta uno dei 340 frame utilizzati per comporla. L'analisi della figura di Airy della stella mostra una lieve scollimazione nel verso nord-sud (la parte in alto del primo anello è più debole di quella in basso, in cui si vede anche una parte del secondo anello di diffrazione. Il telescopio testato (uno Schmidt-Cassegrain Celestron da 14 pollici) mostra anche un'aberrazione ottica evidente. Qualcuno saprebbe dirmi di cosa si tratta? Tensionamento delle ottiche, probabilmente dello specchio secondario tenuto troppo stretto nel suo alloggio dalle viti di collimazione.

Altri rimedi come collimatori laser, cheshire e altro servono solamente per avere una collimazione sufficientemente precisa per un uso visuale, non di certo per le riprese in alta risoluzione.

Il mio consiglio è quindi semplice: non c'è niente che possa sostituire una stella reale nel collimare alla perfezione il proprio telescopio. Nel caso in cui non fosse possibile per la turbolenza

atmosferica, meglio tornare in casa o accontentarsi di qualche foto ricordo senza pretese.

L'acclimatamento dello strumento

Questa è una fase spesso trascurata o addirittura non conosciuta, ma è di fondamentale importanza tanto quanto la collimazione delle ottiche.

In tutti i manuali di osservazione astronomica per principianti è scritto che si dovrebbe montare il telescopio almeno mezz'ora prima dell'inizio effettivo delle osservazioni, per dare il tempo alle ottiche di raggiungere la temperatura esterna, ma raramente si spiegano le conseguenze di un telescopio non acclimatato.

Quando trasportiamo uno strumento da un ambiente più caldo (tipicamente dall'interno della casa) a uno più freddo (fuori), possono esserci differenze di temperatura di diversi gradi, soprattutto nella stagione invernale.

L'aria contenuta nel tubo e il tubo stesso ci mettono relativamente poco per adattarsi alla nuova temperatura, ma le lenti e soprattutto gli specchi primari, molto spessi e massicci, possono impiegare anche diverse ore per raggiungere la temperatura ambiente.

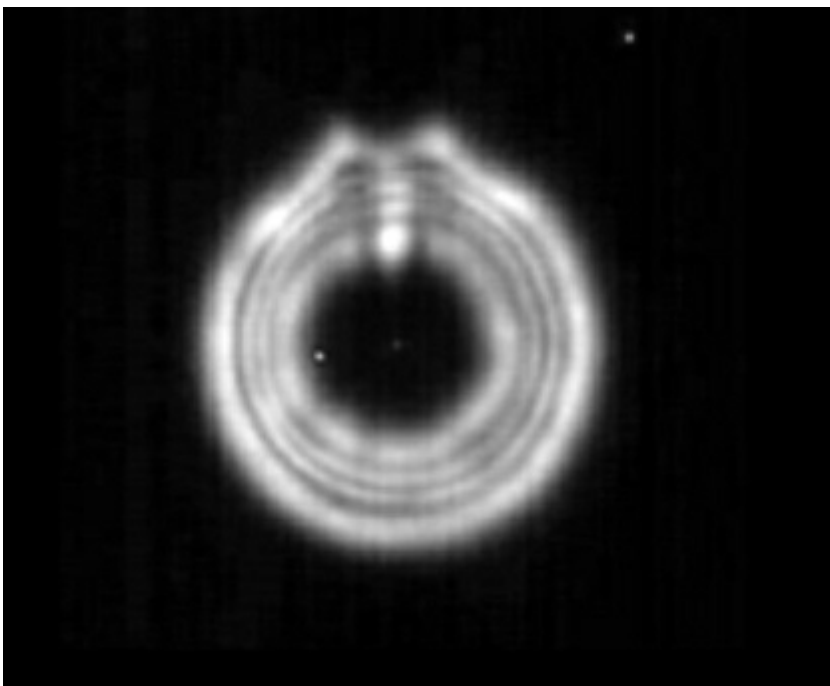
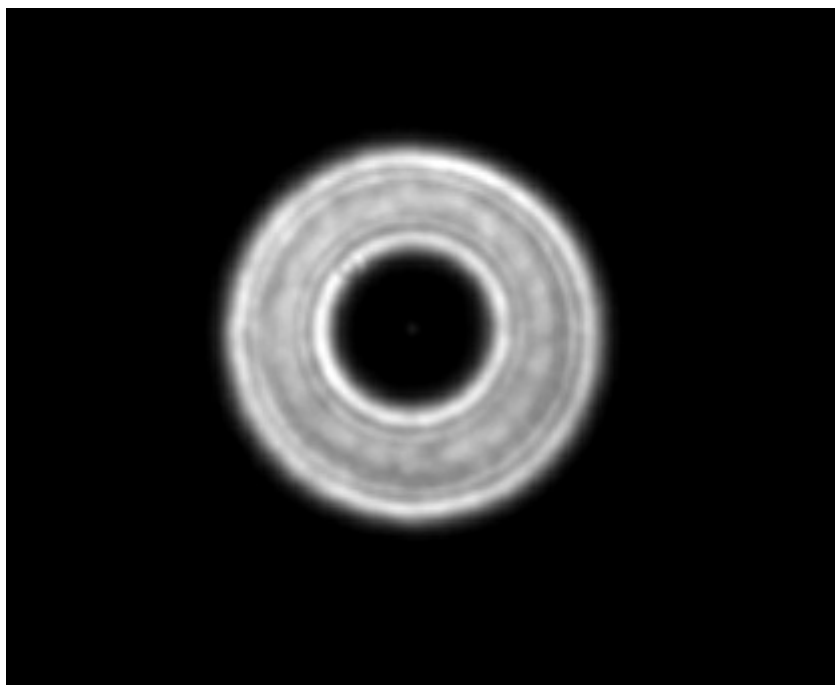
Fino a quando lo specchio primario è più caldo delle zone adiacenti, riscalda l'aria immediatamente sopra di esso che dilatandosi diventa più leggera di quella sovrastante e comincia a salire verso l'alto. La risalita dell'aria riscaldata cede il posto ad aria più fredda, che viene scaldata di nuovo dalla superficie dello specchio e costretta a risalire. Nel frattempo, il primo strato a essere stato scaldato si è ormai raffreddato e precipita di nuovo sulla superficie dello specchio, pronto a incrementare di nuovo di temperatura e ricominciare il giro all'interno del tubo. Si verifica a tutti gli effetti un moto di masse d'aria simile a quello responsabile della turbolenza di origine atmosferica e locale. Fino a quando questi moti convettivi all'interno del tubo sono

attivi le immagini, anche se il seeing è eccellente, appariranno disturbate, impastate e sempre sfocate.

Data la natura molto locale e concentrata del fenomeno, si riesce facilmente a distinguere l'effetto di un telescopio non acclimatato rispetto a quello del seeing atmosferico e locale.

Nei telescopi Cassegrain di qualsiasi tipo, negli Schmidt-Cassegrain e nei Maksutov un'ottica non acclimatata mostra un effetto chiamato piuma di calore, dovuto alla risalita delle correnti calde attraverso lo stretto paraluce posizionato nel foro dello specchio primario che risale verso il secondario.

Osservando una stella sfocata, come quando si effettua lo star test, si nota una disomogeneità abbastanza evidente nella figura di diffrazione che assume la forma di una fiamma di una candela e tende a restare fissa a prescindere dalle distorsioni subite a causa della turbolenza atmosferica.

La piuma di calore sarà presente e purtroppo ben visibile su tutte le immagini fino a quando lo specchio primario non avrà raggiunto la temperatura dell'ambiente circostante e i moti convettivi all'interno del tubo cesseranno.

In alto, l’inconfondibile impronta di una piuma di calore sulla figura di una stella sfocata. In basso, la figura di diffrazione con le ottiche finalmente alla stessa temperatura dell’ambiente esterno. L’acclimatamento è fondamentale per le riprese in alta risoluzione

Nel caso di telescopi Newton e rifrattori l’ottica non acclimatata si evidenzia spesso con la presenza di piccole macchie quasi stabili sull’intera superficie della stella sfocata.

Qualunque sia l’effetto sulla figura di diffrazione di un’ottica più calda dell’ambiente circostante, è fuori di ogni dubbio che finché non si raggiunge un perfetto equilibrio termico il telescopio sarà del tutto inutilizzabile per le riprese in alta risoluzione.

Per le osservazioni visuali e telescopi di piccolo diametro una regola di buonsenso dice che è sufficiente portare fuori lo strumento una mezz’oretta prima, ma questo può non bastare per le nostre applicazioni al limite del potere risolutivo del telescopio.

Come abbiamo capito, il tempo di acclimatamento dipende da quanto è grande lo sbalzo di temperatura che il telescopio deve compensare, ma è direttamente legato anche alla dimensione del

pezzo di vetro che si deve raffreddare, quindi alle dimensioni delle lenti o dello specchio primario.

Un piccolo rifrattore da 60 mm di diametro può raffreddarsi di 10°C in meno di mezz'ora, mentre lo specchio di un Newton da 25 cm o uno Schmidt-Cassegrain può richiedere più di due ore. Il pesante specchio di un Newton da 40 centimetri potrebbe richiedere 4-5 ore.

Tutto questo senza considerare che nel corso della notte la temperatura esterna non resta affatto costante, soprattutto nelle fredde notti invernali. In questi casi i grossi specchi dal peso superiore ai 10-15 kg potrebbero non raggiungere mai la temperatura esterna, inseguendola più lentamente di quanto non vari con l'avanzare della notte.

In questi casi si arriverebbe al paradosso che il proprio telescopio non sarebbe mai utilizzabile per riprese al limite del suo potere risolutivo. Inutile dire che tutto questo è assolutamente inaccettabile!

La mia esperienza mi ha portato a capire alcuni tratti molto importanti per evitare di mangiarsi il fegato e sprecare rare e preziose serate astronomiche.

Telescopi fino a 15 centimetri richiedono al massimo una-due ore per raggiungere l'acclimatamento.

Telescopi dai 15 ai 25 centimetri possono richiedere due, massimo tre ore, mentre strumenti superiori ai 25 centimetri potrebbero non raggiungerlo mai se la temperatura nel corso della notte varia sensibilmente. In ogni caso è impossibile che lo specchio risulti acclimatato prima di 3 - 4 ore.

Come possiamo vedere, si tratta di tempi biblici, soprattutto per grossi strumenti, a volte impossibili da rispettare soprattutto se consideriamo che questo è un hobby e non un lavoro a tempo

pieno.

Abbiamo anche avuto un primo assaggio diretto del fatto che uno strumento di grosso diametro, sebbene consenta di ottenere teoricamente una migliore risoluzione, richiede degli accorgimenti e un'esperienza decisamente maggiore di un meno impegnativo telescopio da 20 centimetri.

A prescindere dal telescopio in nostro possesso, ci sono dei metodi che consentono di velocizzare il raggiungimento della temperatura ambiente dello specchio primario (o della lente) e consentirci di dedicare più tempo al cielo?

Le soluzioni ci sono; alcune risultano semplici, quasi banali, altre sono decisamente più complesse ma a volte necessarie.

Per strumenti sotto i 15 centimetri di diametro, la soluzione migliore e meno invasiva per accelerare l'acclimatamento è quella di portarli fuori almeno un'ora prima, togliere i tappi copri ottica e lasciare libero il porta oculari per agevolare lo scambio di calore tra l'interno e l'esterno del tubo. Se si ha la possibilità, e questo vale per tutti gli strumenti, sarebbe meglio lasciarli sempre fuori, magari in un armadio, un garage o, per chi ne ha la possibilità, nel proprio osservatorio.

Per strumenti tra i 20 e 25 centimetri, soprattutto se Schmidt-Cassegrain, quelli che a causa del tubo chiuso richiedono più tempo per acclimatarsi, fino al doppio di un Newton di pari diametro, ho trovato sempre vantaggioso (anche se non proprio consigliato per la collimazione) liberare e aprire il più possibile la culatta, svitando eventuali focheggiatori e togliendo qualsiasi oculare, riduttore e filtro e posizionare il tubo con la lastra rivolta verso il basso, di modo che l'aria riesca a uscire con più facilità attraverso l'unica apertura possibile.

Per telescopi a partire dai 25 centimetri se Schmidt-

Cassegrain e 30cm se Newton, la soluzione migliore e quasi obbligata è quella di installare un sistema che aumenti il ricircolo dell'aria tra esterno e interno.

La soluzione più semplice consiste nell'utilizzare una ventola di aspirazione come quelle potenti ed economiche per il raffreddamento dei computer. Senza effettuare interventi invasivi e permanenti sul tubo ottico, si posiziona la ventola in prossimità dello specchio primario e le si fa aspirare l'aria per almeno un'oretta. Nel caso di telescopi Cassegrain e catadiottrici con visione posteriore, la ventola si può posizionare proprio all'ingresso della culatta al posto del visual back, più possibile vicino allo specchio (quindi togliere eventuali focheggiatori esterni, diagonali, portaoculari, tubi di prolunga). È importante che la ventola aspiri l'aria dal tubo e non la immetta dentro perché potrebbe riempire gli specchi di polvere.

Nel caso dei telescopi Newton è invece consigliato inviare aria direttamente sul retro dello specchio primario, laddove si trovano anche le viti di collimazione, togliendo eventuali tappi che coprano la superficie esterna.

In alto: Una ventola da computer attaccata alla culatta di un telescopio Newton aiuta a raffreddare più velocemente lo specchio e ridurre i tempi di acclimatamento. In basso: se riprendiamo con un Newton aperto, la ventola è consigliabile installarla di fronte allo specchio e indirizzare il flusso d'aria sulla sua superficie.

In questi casi, soprattutto negli Schmidt-Cassegrain, il tempo

di acclimatamento può ridursi dal 30 fino al 50%: davvero un gran bel risparmio. Naturalmente nella fase di ripresa ogni ventola dovrà essere rigorosamente spenta.

Per telescopi dedicati unicamente alle riprese in alta risoluzione, oltre i 30 centimetri se Schmidt-Cassegrain e dai 40 in su per i Newton, si potrebbe pensare all'installazione di ventole permanenti all'interno del tubo ottico, la cui efficacia è sicuramente fondamentale nello sfruttare in pieno questi grossi telescopi. Alcuni laboratori di astronomia effettuano queste modifiche o vendono addirittura delle culatte dotate di ventole da sostituire con quelle del proprio telescopio.

Telescopi di grandi dimensioni come uno Schidt-Cassegrain da 35 centimetri dedicato all'alta risoluzione possono beneficiare dell'installazione di alcune ventole all'interno della culatta che espellano verso l'esterno l'aria.

Alcuni astrofili installano addirittura un sistema di

raffreddamento basato su delle celle di Peltier, che unito alle ventole riesce a regolare la temperatura dello specchio in pochi minuti, rimuovendo e impedendo la formazione di quello che in gergo è chiamato strato limite, ovvero un sottile strato di aria calda a diretto contatto con la superficie dello specchio. In questo modo si riesce anche a ovviare a una eventuale repentina discesa della temperatura ambientale nel corso della notte senza compromettere l'efficienza del proprio strumento.

L'installazione di questi dispositivi non richiede l'investimento di grandi somme di denaro, ma una buona dose di manualità e soprattutto consapevolezza di quello che si sta facendo. Rovinare irrimediabilmente uno strumento di qualche migliaio di euro è molto facile, per questo meglio affidarsi a gente esperta e solamente nel caso in cui ci sia veramente la necessità. Benché potrebbe risultare interessante per alcuni, il tuning dei telescopi a fini estetici è un'attività che raramente ne migliora le prestazioni.

Dove è consigliabile arrivare e dove l'utilità si trasforma in un mero tuning estetico? Personalmente non ho mai sentito l'esigenza di utilizzare alcun tipo di ventola con i miei strumenti da 23 centimetri (Schmidt-Cassegrain) e da 25 centimetri (Newton), ma questi li potevo lasciare sempre sul balcone. Nel mio C14 ho trovato installate delle ventole interne e un sistema di raffreddamento a celle di Peltier, ma non ne ho mai sentito la necessità, tranne in un paio di casi in cui non sono riuscito a portare fuori il telescopio in tempo per lasciarlo acclimatare. Altri astrofili potranno raccontare esperienze diverse, soprattutto con strumenti di maggiori dimensioni, luoghi d'osservazione diversi e tempi ristretti, ma il succo del discorso è semplice: qualsiasi modifica si intenda fare, va fatta solamente quando la nostra

esperienza diretta ci dice essere assolutamente necessaria. Per chi possiede uno strumento sotto i 30 centimetri le accortezze che ho menzionato precedentemente sono più che sufficienti; una ventola da 10 euro da agganciare esternamente con un po' di nastro adesivo aiuta a guadagnare tempo quando non si ha. Le installazioni permanenti all'interno sono di discutibile utilità.

La morale della favola è: mai fasciarsi la testa prima di rompersela.

Dove posizionare il telescopio

Siamo arrivati quasi alla fine del percorso di ottimizzazione dello strumento ottico.

Dopo averlo collimato e aver compreso le problematiche legate all'acclimatamento delle ottiche, ora dobbiamo scegliere il posto migliore per effettuare le nostre sessioni di ripresa in alta risoluzione.

Anche questa fase non è da sottovalutare, perché alcuni elementi insospettabili potrebbero rendere infernali le nostre sessioni di ripresa, laddove a volte basterebbe spostare il telescopio di un paio di metri per scoprire un mondo completamente diverso.

La posizione del telescopio per le riprese in alta risoluzione deve riuscire a minimizzare gli effetti del seeing di natura locale e ridurre le vibrazioni causate da eventuale traffico nelle vicinanze o persone che camminano.

Alcuni degli accorgimenti potrebbero sembrare superflui, ma dalla mia esperienza ho imparato che quando si tratta del luogo in cui riprendere nulla è superfluo e anche il minimo dettaglio può fare la differenza.

Il posto ideale da cui riprendere si troverebbe sulla cima di una collina in mezzo a una pianura, nel mezzo di un prato coperto di erba e ad almeno qualche chilometro dal mare. Ma diciamo la verità: quanti luoghi in Italia potrebbero soddisfare queste caratteristiche e quanti sono gli astrofili che effettivamente potrebbero usufruire di un posto del genere?

Molti degli appassionati che si accingono a riprendere i corpi del Sistema Solare lo fanno perché si trovano immersi in luoghi estremamente inquinati dalle luci delle città, impossibilitati quindi a fare qualsiasi altra cosa se non osservare e riprendere i

luminosi pianeti.

Ma se le luci non rappresentano mai un fastidio, le città sono l'ambiente più difficile dal quale si possono fare riprese in alta risoluzione.

Il problema in questi casi è causato dal seeing locale, reso spesso impossibile dal calore che sale dalle strade, dai tetti delle case adiacenti e dallo stesso balcone dal quale probabilmente si faranno le riprese.

Sembra una situazione disperata, ma non è così, perché molti astrofili riescono lo stesso a ottenere ottimi risultati.

Io, purtroppo, sono uno di coloro che intrappolati nella città ha dovuto con l'esperienza studiare tutti gli stratagemmi per riuscire a portare avanti la propria passione per le riprese del Sistema Solare.

Ma andiamo con ordine e vediamo prima di tutto come:

Battere il seeing

Nulla da fare naturalmente per la turbolenza di origine atmosferica, che dipende da strati che non sono sotto il nostro controllo, ma spesso, troppo spesso, è la turbolenza locale a comandare e farci imprecare contro i siti web che prevedono invece ottimo seeing. Non sempre naturalmente ci prendono, ma spesso hanno ragione, anche se noi, purtroppo, vediamo qualcosa di molto diverso.

Per attenuare la turbolenza locale, oltre ai consigli di buon senso che si apprendono nei manuali di introduzione al cielo (osservare lontano dai tetti, non da dietro le finestre e quando l'oggetto si trova nel punto più alto sull'orizzonte), è necessario andare oltre.

Il luogo di osservazione dovrebbe trovarsi sulla cima di una collina, di una montagna o al centro di un'ampia pianura (o con il mare nelle vicinanze, anche se non troppo).

Forse anche questi sono requisiti troppo ristretti, a meno che non si abiti in prossimità della costa o nel mezzo della pianura Padana. In alternativa, è necessario che non tutti i lati dell'orizzonte siano chiusi da ostacoli naturali. I punti in assoluto peggiori per le riprese in alta risoluzione si trovano nelle valli montane o collinari. In questi casi, mi dispiace dirlo, ma è meglio spostarsi o cambiare attività, perché il seeing locale non sarà mai buono.

Se almeno un lato del nostro punto di osservazione è libero, allora le serate di buon seeing locale si avranno in totale assenza di vento o con una leggera corrente che spira dal lato non ostruito. Se il vento, anche debole, proviene da un lato sottovento a un ostacolo naturale, il seeing locale sarà sempre e

inesorabilmente pessimo.

Scelto il luogo di osservazione (o capito, con un po’ di fortuna, che il nostro balcone può soddisfare almeno i requisiti minimi), dobbiamo capire in quale punto posizionare il telescopio e in che modo.

Si potrebbe pensare di montarlo in un punto riparato dal vento, magari ai lati del balcone, adiacente una parete, o nel proprio giardino di fianco a uno o più mura: niente di più sbagliato. Se siamo in città, o comunque circondati da marciapiedi, strade, piazzali, case, il telescopio deve essere piazzato nel punto più aperto e areato possibile.

Non bisogna cercare di ripararlo dal vento, soprattutto se ci troviamo sul pavimento del balcone o su qualsiasi piazzale in cemento. Una leggera brezza durante le riprese è fondamentale nel trasportare via il calore proveniente dal basso, che causerebbe un aumento esponenziale della turbolenza locale qualora non venisse disperso dal vento. L’immagine a monitor magari risulterà instabile e ballerina a causa dei colpi di vento, ma questo non è un problema almeno fino a quando il pianeta non esce dal sensore.

La posizione in un ambiente ventilato è ancora più importante nel caso in cui si facciano riprese diurne, con il calore del Sole che altrimenti creerebbe moti convettivi fastidiosissimi. Ma per gli accorgimenti da prendere durante il giorno ci sarà spazio in abbondanza nell’apposito capitolo più avanti nel libro.

Nelle nottate invernali un altro problema che potrebbe rovinare il seeing locale è la presenza di fonti di calore nelle vicinanze. Chi riprende dai balconi deve assolutamente tenere chiuse le finestre e in generale non si dovrebbe sostare proprio vicino allo strumento, soprattutto se stiamo facendo sessioni di

ripresa in compagnia. Può sembrare esagerato, ma anche il calore corporeo è in grado di rovinare le immagini in alta risoluzione, soprattutto se si utilizzano telescopi di diametro superiore ai 20 centimetri.

Ultimo, ma non per importanza, ho imparato che dalla città, nonostante tutti gli accorgimenti possibili, è impossibile trovare seeing locale buono per oggetti la cui altezza sull'orizzonte è inferiore a 40°. In queste circostanze l'unica alternativa potrebbe essere quella di spostarsi. Ma in alcuni casi è possibile sfruttare delle brevi finestre in cui il seeing locale potrebbe darci una tregua. Poco dopo il tramonto del Sole, fino a quando non si accendono stelle di magnitudine oltre la terza, l'ambiente cittadino vive una specie di quiete prima della tempesta di moti convettivi che si scatenerà da lì a poco. In questa breve finestra (mezz'ora al massimo), se in seeing atmosferico lo consente e non ci sono venti che potrebbero causare situazioni di sottovento, è possibile ottenere ottime immagini in alta risoluzione.

Una finestra simile, anche se più ampia, si ha in prossimità dell'alba, orientativamente a partire da mezz'ora prima dell'inizio del crepuscolo astronomico fino al sorgere del Sole. Con gran parte della notte ormai passata, la temperatura ambientale si è stabilizzata e il terreno ha restituito tutto il calore accumulato il giorno precedente. Il seeing locale, sempre se non ci troviamo sottovento, potrebbe essere sorprendentemente buono anche per oggetti ad altezze minori dell'immaginaria linea di confine dei 40° di altezza.

Sconfiggere le vibrazioni

Nelle città, soprattutto dai balconi, un altro insospettabile pericolo è rappresentato dalle vibrazioni provenienti dalla struttura del palazzo a seguito del traffico o del semplice camminare di amici, parenti e condomini vari.

Contrariamente alle leggere folate di brezza che fanno oscillare imprevedibilmente le immagini e rovinano al massimo pochi frame su un filmato di migliaia, le vibrazioni possono essere sempre presenti e hanno una frequenza maggiore, riuscendo a rovinare anche frame raccolti con esposizioni superiori a 1/100 di secondo: decisamente da evitare.

Impossibile o quasi notarle osservando all'oculare, grazie anche alla naturale capacità del sistema occhio-cervello di attenuare i disturbi ad alta frequenza. Altra storia quando inseriamo la camera planetaria in configurazione da ripresa. Nei casi più gravi si vede il pianeta vibrare lungo una direzione precisa, mentre solitamente si nota un leggero allungamento dei dettagli fini in modo decisamente poco naturale.

Per scongiurare questo problema che cancellerebbe ogni velleità di ripresa in alta risoluzione, è necessario evitare in ogni modo di riprendere dal terrazzo sul tetto di un palazzo, il punto più sensibile alle vibrazioni. Se ciò non fosse possibile, meglio posizionarsi in un angolo, preferibilmente quello esterno: il supporto dato dalle mura portanti smorza leggermente le vibrazioni.

Se si osserva da un balcone le vibrazioni possono presentarsi lo stesso, anche se non tutti i condomini contribuiranno a crearle (a meno che il palazzo non sia pericolante!). In questi casi è comunque meglio, anche a seguito delle considerazioni fatte sul

seeing locale, posizionare il telescopio nel punto più aperto possibile. Se il balcone è lungo e fa angolo con il palazzo, il posto migliore è proprio questo.

La mia postazione di ripresa cittadina appartiene proprio a questo caso, ed è impressionante notare che fino a quando mi ostinavo a posizionare lo strumento al riparo dalla brezza adiacente la paratia con l'altro balcone non riuscivo a trovare una singola serata di buon seeing. Dieci metri più in là hanno fatto la differenza tra il vedere e non vedere niente.

Il mio telescopio in postazione da ripresa nell'angolo più ventilato e

aperto del balcone, munito di piedini antivibrazione ricavati dai feltrini per sedie.

Qualsiasi sia la posizione scelta, è fortemente consigliato dotare i piedi della montatura di appositi gommini smorza vibrazione acquistabili in qualsiasi negozio di astronomia. Una soluzione alternativa più economica, ma altrettanto efficace, è rappresentata dai feltrini adesivi che si incollano alle sedie per non farle strisciare rumorosamente.

Certo, meglio non aspettarsi miracoli, perché se si decide di saltare vicino allo strumento o anche solo di camminare (se siamo su un balcone), l'immagine vibrerà lo stesso. Fortunatamente, però, riprendiamo quasi sempre di notte, non di rado a orari assurdi, quindi possiamo confidare sul fatto che i nostri amici condomini non decidano di dare uno scatenato party notturno fino all'alba ogni qualvolta decidiamo di riprendere in alta risoluzione i corpi del Sistema Solare!

Ricerca amatoriale

Alcune parti di questa sezione sono tratte dal libro "Astrofisica per tutti: scoprire l'Universo con il proprio telescopio".

Se siete ormai degli astrofotografi del cielo con una certa

esperienza e molta voglia di portare al limite la vostra strumentazione, magari affrontando qualche divertente ed emozionante progetto di ricerca, questa è la sezione che fa per voi. Qui, proprio come degli astronomi professionisti, partiremo alla scoperta di tutto quello che il nostro telescopio amatoriale, accoppiato ai moderni dispositivi di ripresa digitale, è in grado di regalarci oltre al mero imaging estetico. Sapete, ad esempio, che moltissime stelle variabili oltre la magnitudine 10 non sono ancora state scoperte? O che è possibile osservare la traccia di un pianeta extrasolare distante centinaia di anni luce mentre attraversa il disco della propria stella? Senza contare poi la possibilità di scoprire asteroidi, comete, supernovae, fenomeni particolari nelle atmosfere dei pianeti.

Insomma, qui, con pazienza, determinazione e curiosità si va in prima persona alla scoperta dell'Universo.

Scoprire pianeti extrasolari dal balcone di casa

Descrizione progetto

Rilevazione e studio di pianeti extrasolari in transito attorno alle loro stelle mediante la costruzione delle curve di luce.

Il transito di un pianeta produce una forma inconfutabile. Dall'analisi del calo di luce (spesso inferiore a 1/100 di magnitudine) è possibile determinare con precisione l'orbita del pianeta, il raggio, la massa e la densità media.

Perché

La ricerca e lo studio di pianeti extrasolari è un campo estremamente attivo dell'astrofisica del ventunesimo secolo. La ricerca e lo studio fotometrico di pianeti in transito davanti alla propria stella permette di ricavare dati che nessun'altra tecnica di rilevazione consente. I professionisti raramente hanno mezzi e possibilità per ricercare i transiti, ma solo per studiare quelli certi, per questo il ruolo dell'astronomo dilettante, nei lavori di ricerca e follow-up, è di un'importanza estrema e consente di ottenere dati di livello professionale, riconosciuti dall'intera comunità professionale.

Strumentazione

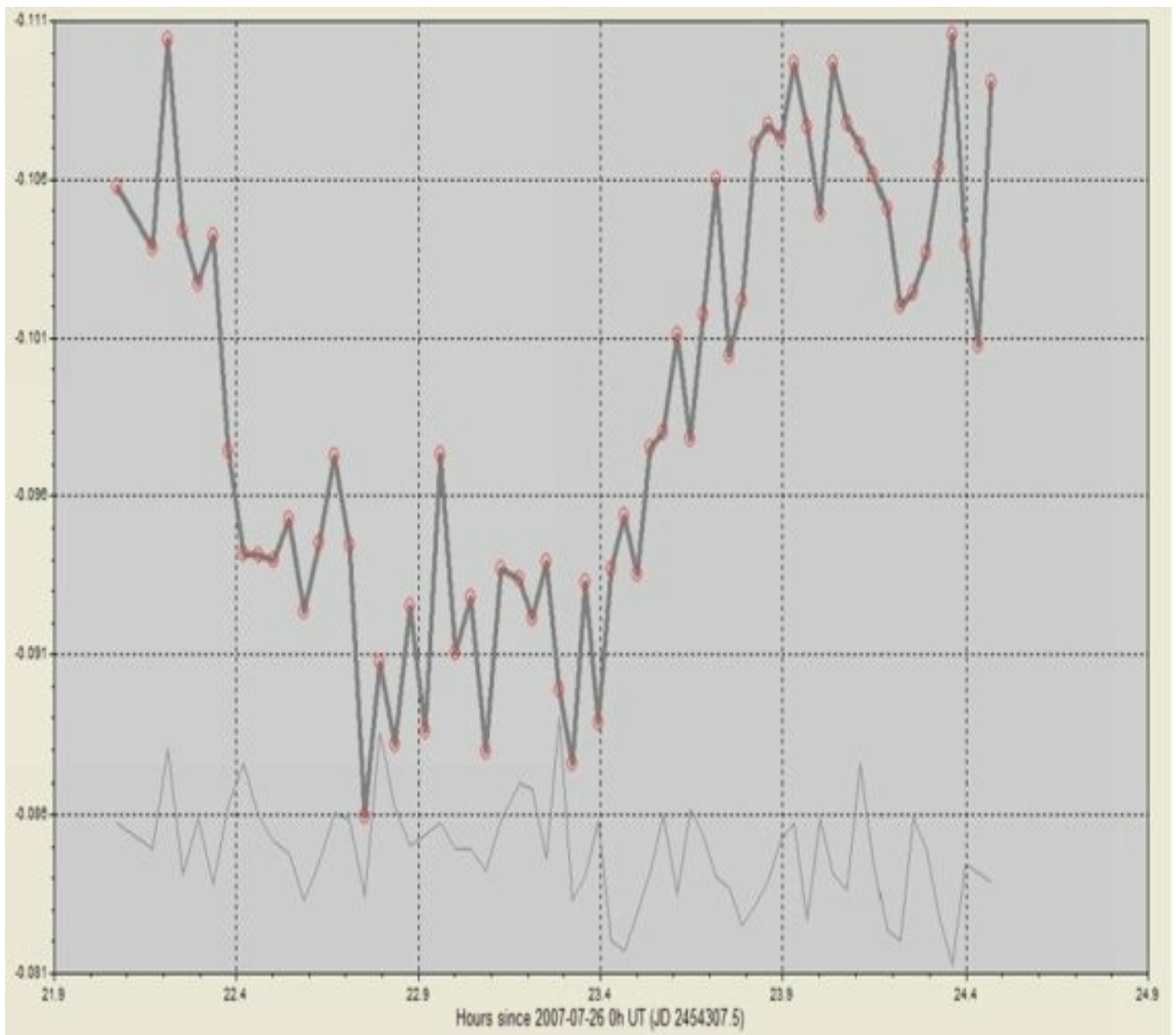
L'equipaggiamento adatto è lo stesso visto per tutte le applicazioni fotometriche. In questi casi, però, vista la delicatezza dei dati da estrapolare, spesso al limite delle possibilità strumentali, occorrono strumenti più precisi e qualitativamente accurati, specialmente la camera di ripresa:

- Camera CCD assolutamente monocromatica, raffreddata, senza l'antiblooming, con controllo della temperatura preciso al decimo di grado. E' preferibile un sensore estremamente sensibile, come i moderni equipaggiati con microlenti, con basso rumore elettronico e di lettura. La dinamica deve essere di 16 bit: in questo modo si riduce il cosiddetto rumore di quantizzazione, che per dinamiche inferiori limita la precisione fotometrica a 1/100 di magnitudine, troppo elevato per ricercare e studiare con profitto i transiti. Vale infatti una regola aurea in ogni campo dell'astronomia osservativa: la precisione delle misurazioni deve essere almeno tre volte maggiore del dato da estrapolare per essere considerata attendibile. Questo significa che per rilevare senza dubbi un transito che produce un calo di 1/100 di magnitudine, il nostro apparato di ripresa deve restituire una precisione almeno tre volte migliore, pari a 1/300 di magnitudine, solamente 3 millesimi di magnitudine!
- Filtro fotometrico R o passabanda IR. E' necessario lavorare nel rosso o nel vicino infrarosso per eliminare problemi di trasparenza e di estinzione atmosferica e migliorare la precisione raggiungibile,

attenuando il fenomeno della scintillazione, funzione della lunghezza d'onda. Attenzione a non lavorare con filtri oltre gli 800nm di banda, a causa della comparsa di un difetto dell'immagine chiamato fringing, difficilmente eliminabile. Un filtro passa infrarosso da 700 nm è perfetto;

- Telescopio da almeno 15 centimetri di diametro. Sebbene alcuni amatori utilizzino con profitto strumenti di diametro minore, questo è il diametro minimo consigliato per un programma di ricerca proficuo. Non vi sono limitazioni sulla qualità ottica, che può essere anche non eccelsa, a patto che non sia evidente il coma all'interno del campo ripreso. L'unica indicazione è sul campo abbracciato, frutto della combinazione sensore-focale di ripresa, che dovrebbe essere non inferiore a 15' (per avere maggiori possibilità di trovare stelle di confronto adatte);
- Autoguida estremamente precisa. La funzione dell'autoguida in questo tipo di applicazioni è fondamentale. Per ottenere la massima precisione, la stella da studiare non si deve spostare nel campo di ripresa nel corso dell'intera sessione fotometrica. Una guida perfetta rappresenta il 90% del successo di una sessione fotometrica e naturalmente questo richiede anche:
- Montatura precisa e robusta, in grado di produrre stelle perfettamente sferiche anche con una decina di minuti di esposizione. Per la fase di elaborazione dati serve invece un:
- Programma di riduzione fotometrica. Maxim

Dl si rivela utile e veloce per fare dei controlli al volo, ma per un'analisi seria dei dati occorre rivolgersi verso altri programmi, tra i quali IRIS, che fornisce i risultati in flussi stellari (molto importante per ricavare i dati del pianeta) con un procedimento interamente controllabile da parte dell'utente.

- Come in ogni lavoro fotometrico occorre sincronizzare l'orologio del proprio computer con una precisione di almeno un secondo.

Transito di un pianeta extrasolare di taglia gioviana (TrEs-2) ripreso con un telescopio newtoniano da 25 cm e camera CCD astronomica. Quando il pianeta passa prospetticamente davanti alla stella madre produce un calo di luce dell'ordine di 1/100 di magnitudine, rilevabile con strumentazione amatoriale. Questo è stato il mio primo tentativo fotometrico, andato perfettamente a segno. (26 luglio 2007)

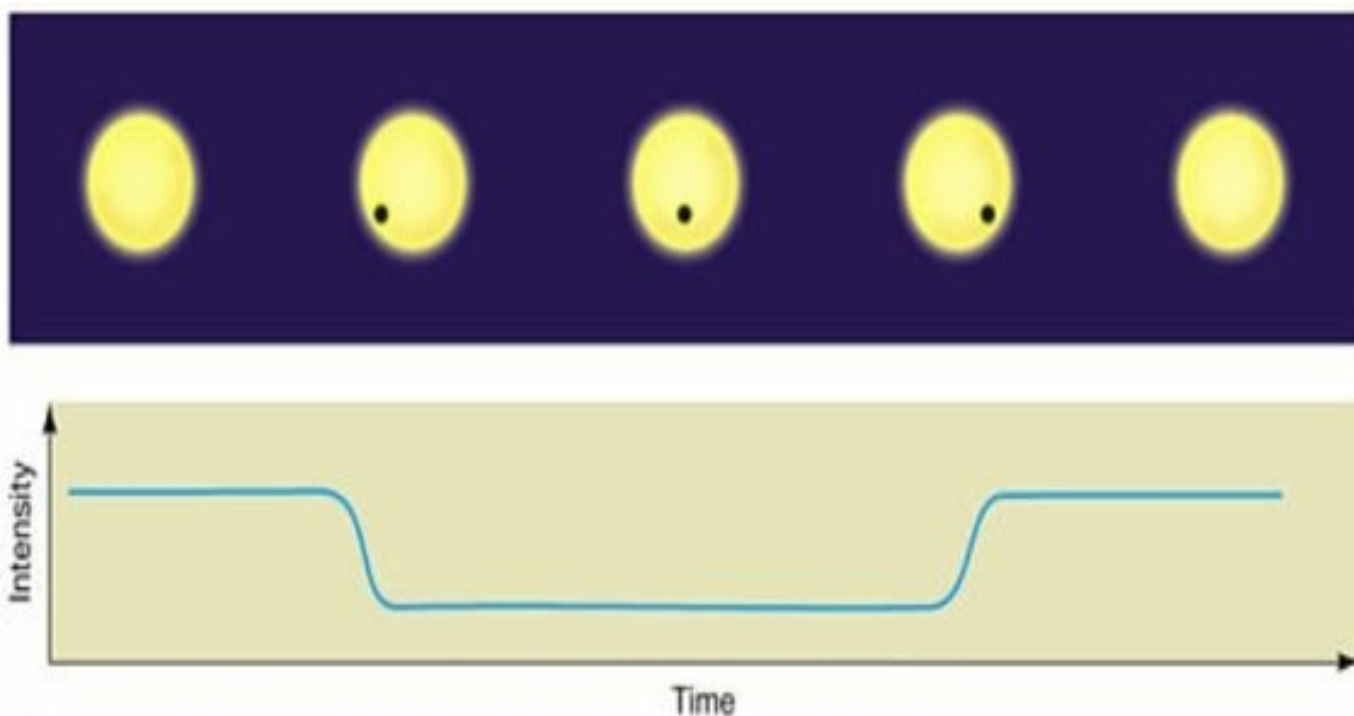
Un transito di un pianeta extrasolare si verifica quando esso, visto da Terra, attraversa il disco della propria stella, analogamente a quanto succede (raramente) per il transito di Mercurio o Venere. Il passaggio di un corpo oscuro provoca una

diminuzione della luce stellare di una quantità proporzionale al rapporto delle superfici in gioco (e quindi ai raggi):. In formule: $R_p = R_* \sqrt{\Delta F}$.

Purtroppo la probabilità che si possa verificare un transito è piuttosto bassa poiché occorre che l'orbita del pianeta sia vista quasi di taglio dalla Terra; in effetti solo il 10% dei pianeti finora scoperti transita.

Similmente ai metodi più importanti, anche in questi casi si possono mettere in luce pianeti giganti simili a Giove (le dimensioni precise dipendono anche dal raggio della stella; minore è il raggio stellare, minore sarà il raggio di soglia planetario per la rilevazione del transito).

Il calo di luce, per pianeti grandi come Giove e stelle simili al nostro Sole, è tipicamente di 1-2 centesimi di magnitudine, un valore piccolissimo, analogo a quello che produrrebbe una moneta da 2 euro se posta davanti e a contatto con un lampione dal diametro di 30 cm, impossibile da notare ad occhio nudo.

La strumentazione amatoriale è in grado, attraverso l'analisi fotometrica, di rilevare pianeti extrasolari che transitano di fronte la propria stella. Sebbene gli altri metodi di indagine siano fuori portata, il metodo dei transiti consente di raggiungere un livello professionale, arrivando a precisioni che sfiorano 1 millesimo di magnitudine, consentendo, quindi, in linea di principio, di rilevare con ottima confidenza transiti profondi fino a 4 millesimi di magnitudine.

Un pianeta extrasolare che transita davanti alla propria stella produce un calo di luce dalla forma tipica e facilmente identificabile. Questa raffigurata è una situazione ideale (ed approssimata), ma le curve reali non si discostano troppo da questo andamento.

La potenza del metodo, oltre a permettere la determinazione di dati sul pianeta che in nessun altro modo si possono ricavare, è che non è sensibile alla distanza: un pianeta transitante a 10 o a 100 anni luce produce la stessa curva di luce.

Con questa tecnica è possibile seguire il transito di pianeti già noti, oppure scoprirne di nuovi e dare un'importante mano alla ricerca scientifica, come nel caso del pianeta extrasolare HD17156b, il primo al mondo il cui transito sia stato osservato per la prima volta da un gruppo di astrofili, tra cui l'autore.

Riuscire a catturare la presenza di pianeti al di fuori del nostro sistema solare è una delle cose più affascinanti in assoluto e ciò è alla portata dell'amatore, purché disponga di una buona tecnica fotometrica.

Credo che questo rappresenti uno dei passi più importanti del secolo per l'astronomia amatoriale, che la avvicina di nuovo, in

modo impressionante, all’astronomia fatta dai professionisti.

Tecnica di ricerca

Trattandosi di un progetto di ricerca di nuovi oggetti, la tecnica non si limita alla sola ripresa, ma abbraccia anche la fase di programmazione delle osservazioni e quella, altrettanto importante, dell'analisi e riduzione dei dati.

Prima di tutto occorre effettuare dei test su pianeti con transito noti per capire le possibilità della propria strumentazione e mettere a punto la migliore tecnica di ripresa e analisi dei dati. Una volta che questo costituirà la nostra solida base potremo passare alla caccia vera e propria. Alcuni pianeti con transiti noti e relativamente facili da mettere in evidenza sono TrEs-2 particolarmente adatto per le serate della tarda primavera, TrEs4 per le serate estive.

La verità è che ci sono pianeti in transito quasi sempre nel nostro cielo ed è impossibile elencarne tutti. Un'ottima risorsa per programmare le osservazioni, anche se ormai un po' datata, è questa:

http://www.ucolick.org/~laugh/dynamiccontent/candidates.htm

Per cominciare a estrapolare qualche dato e confrontare i risultati pratici con la teoria, questo simulatore di transiti è uno strumento molto utile, soprattutto agli inizi:

http://astro.unl.edu/naap/esp/animations/transitSimulator.html

Una volta fatta la dovuta esperienza, siamo pronti per partire con il nostro progetto di ricerca, che si articola secondo due filoni:

- Ricerca di pianeti ex-novo;
- Ricerca di transiti dei pianeti scoperti con altri metodi

Poiché vi sono moltissime stelle in cielo, è necessario sapersi

muovere e avere idea di cosa e come guardare. Come ogni branca della ricerca scientifica, infatti, nulla può essere lasciato al caso e tutto deve essere accuratamente programmato.

E’ fortemente consigliato che il pianeta eventualmente in transito sia già stato individuato con il metodo delle velocità radiali. In questo modo un eventuale transito sarà da attribuire sicuramente al pianeta, altrimenti una curva di luce analoga potrebbe essere prodotta anche da una stella che occulta la compagna (variabili a eclisse); questi falsi positivi rappresentano la gran parte delle nuove scoperte da parte delle survey professionali.

A prescindere da come cercare, la fase di acquisizione è standard e segue regole ferree che se rispettate scrupolosamente permettono di restituire ottimi risultati senza particolari difficoltà.

Molto importanti sono i frame di calibrazione, che devono essere perfetti e non introdurre del rumore aggiuntivo.

Dark frame, flat field e dark frame dei flat field sono importantissimi per cercare di ridurre al massimo il rumore delle immagini. Un ottimo dark frame, da sottrarre a tutte le immagini di luce deve essere il risultato della mediana (e solo mediana!) di almeno 15 singoli scatti, ognuno della stessa durata e ripreso alla stessa temperatura delle singole immagini di luce.

Un ottimo flat field è invece la media di almeno una trentina di singole immagini, riprese con un tempo di esposizione indipendente dalle immagini di luce, tale che la luminosità di picco non superi il 50% di quella consentita dalla camera di ripresa e in ogni caso cada sempre all’interno dell’intervallo di linearità del sensore.

Il campionamento temporale delle riprese deve essere almeno

di 10 minuti, meglio se di 5. Cosa significa? Che dobbiamo scattare una foto alla stella attorno alla quale cerchiamo il transito almeno ogni 5 minuti. Questo dato dipende dalla precisione che si deve raggiungere per minimizzare gli errori fotometrici e non può prescindere da un paio di serate di test. Se la precisione raggiunta è minore di 5/1000 di magnitudine già con 120 secondi di esposizione, non vi è alcun motivo per aumentare l'intervallo di ripresa delle immagini se cerchiamo il transito di un pianeta da 1,5 centesimi di magnitudine di profondità.

La ricerca ex novo di un pianeta attraverso un transito, senza alcuna indicazione preliminare sulla sua presenza, è un'attività che richiede molto tempo e porta a magri risultati: solo il 10% dei pianeti scoperti presenta un transito, quindi è lecito immaginare che con questo metodo si scoprono solamente, al massimo, il 10% dei pianeti extrasolari che la tecnologia attuale permette di rilevare.

In questi casi occorre scegliere delle stelle di sequenza principale, possibilmente simili al Sole e con almeno un miliardo di anni, non variabili, e seguirle fotometricamente per molti giorni, tipicamente almeno per un mese. Per massimizzare i risultati, è consigliabile scartare a priori gli ammassi aperti e globulari, consententi, rispettivamente, stelle troppo giovani e stelle troppo vecchie, quindi prive dei metalli che compongono la struttura dei pianeti. Inoltre si deve battere la concorrenza delle survey professionali, che periodicamente scandagliano il cielo, sapendo riconoscere i loro punti deboli. Visto il grande campo di questi strumenti e la necessità di fare fotometria di alta precisione, generalmente le survey, come la TrEs, non osservano

in campi affollati (crowded) quali quelli lungo il disco galattico. L'amatore dovrebbe concentrarsi in queste zone, che non siano troppo basse sull'orizzonte, pena l'aumento dell'errore fotometrico. Le stelle da seguire non dovrebbero avere magnitudini superiori alla 13.

Di particolare interesse è cercare di scoprire pianeti in transito attorno a stelle rosse di classe M, attorno alle quali la strumentazione amatoriale permette di scoprire transiti di pianeti poco più grandi della nostra Terra: un evento che se venisse ripreso e confermato si rivelerebbe di importanza storica! Sfortunatamente le stelle di classe M sono tutte piuttosto deboli, ma, per questo motivo, sono poco indagate dalle survey professionali, le quali raramente si spingono oltre la magnitudine 11. Se abbiamo a disposizione una postazione fissa o l'osservatorio della nostra associazione, sarebbe interessante stilare una lista delle stelle di classe M più luminose e seguirle fotometricamente alla ricerca di una qualche impronta nella loro curva di luce.

Un campo di almeno mezzo grado è molto indicato ma per avere la massima possibilità di scoperta è meglio scegliere una porzione di cielo contenente almeno 4-5 stelle candidate, con luminosità simili, da seguire fotometricamente.

Scegliere un campo contenente più di un candidato è molto conveniente e permette di ottenere la massima efficienza. Seguire le stelle scelte per tutta la notte, concentrandosi solo su questi candidati, per almeno una trentina di notti. Non c'è né tempo né spazio per condurre, in questo lasso di tempo, altre osservazioni, se non utilizzando uno strumento diverso!

Le variabili a eclisse rappresentano gran parte degli eventi scoperti con questa tecnica e finora ne sono state scoperte circa

6500: la ricerca deve escludere a priori questi oggetti. Le altre variabili conosciute lasciano impronte molto diverse da quelle di un transito planetario e sono quindi facili da identificare. Controllare l'eventuale presenza di variabili con il catalogo GCVS o consultando articoli scientifici in rete, come questo: http://adsabs.harvard.edu/abs/2006A&A...446..785M .

Escludere nel campo di ripresa la presenza di variabili a eclisse già note ha il doppio vantaggio di eliminare a priori oggetti conosciuti e di far scoprire, nel caso in cui si avvisti un calo di luce tipico di un transito, almeno un nuovo sistema doppio a eclisse: meno emozionante di un pianeta, ma sempre meglio di niente!

Tenere sempre nota delle coordinate del campo ripreso e, nel caso si sia scoperto qualcosa che somiglia a un transito o a un'eclisse, si dovranno effettuare altre analisi per scoprire:

1) profondità: tutti i pianeti in transito producono profondità massime di 2/100 di magnitudine; profondità nettamente maggiori sono da attribuire a stelle. D'altra parte, non tutti i transiti con questa profondità sono da attribuire ai pianeti, per questo si deve:
2) Continuare a seguire fotometricamente la stella alla ricerca dell'eventuale eclisse secondaria. Attraverso una veloce analisi del periodo ricaviamo la periodicità dell'evento e, considerando un sistema con orbita circolare, verso la metà del periodo dovremmo incontrare l'eclisse secondaria. Se registriamo questo evento, allora si tratta sicuramente di un sistema doppio a eclisse. Se questo controllo è negativo, si può:
3) Seguire l'evento (transito o eclisse) con diversi filtri fotometrici, possibilmente separati da un

grande intervallo di lunghezze d’onda, come un B ed un R, o, in alternativa, con due normali passabanda, quali un filtro blu-azzurro ed uno infrarosso. Se il calo di luminosità è causato da un pianeta in transito, quindi un corpo freddo, la profondità resta invariata. Se si tratta di una stella, la profondità dell’evento varia con la lunghezza d’onda.

Nel caso il candidato abbia superato tutti questi controlli, sarà meglio avvertire, non pubblicamente, un osservatorio, un ente o un amico astronomo. Sfortunatamente manca un sistema di coordinazione e raccolta di dati come succede per variabili e asteroidi. Un buon punto di partenza è contattare la stessa AAVSO, i curatori del progetto transitsearch (www.transitsearch.org) o la mailing list italiana sui pianeti extrasolari (transitiextrasolari@yahoogroups.com).

Ben più facile e redditizia è la ricerca del transito di quei pianeti già scoperti con altri metodi, quasi esclusivamente con quello delle velocità radiali. La letteratura è già ricca di scoperte da parte degli amatori: vale citare la scoperta del transito di HD17156b, oppure di HD80606b, alla cui scoperta hanno partecipato numerosi astrofili italiani, alcuni dei quali equipaggiati con una camera CCD autocosctruita e il classico telescopio newtoniano da 114 mm!

La ricerca dei transiti di pianeti già noti non è limitativa se si tengono presenti le informazioni uniche che solo un transito può fornire e il fascino di poter vedere l’impronta di un pianeta esterno al Sistema Solare.

Gli astrofili interessati possono riferirsi al gruppo di ricerca dei pianeti extrasolari facente capo all’UAI :

http://it.groups.yahoo.com/group/transitiextrasolari/ che fornisce la lista aggiornata dei candidati e organizza le sessioni osservative, oppure, per lavori indipendenti (consigliati solo se si è molto esperti e ben equipaggiati), si deve partire da un elenco di pianeti extrasolari scoperti con altri metodi. Il sito http://exoplanet.eu si propone come una completa enciclopedia dei pianeti extrasolari, un portale ricco di informazioni, tra le quali cataloghi e caratteristiche di tutti i pianeti scoperti.

I candidati migliori sono i pianeti di tipo gioviano, scoperti con il metodo delle velocità radiali, con periodi non superiori ai 20 giorni, quindi con semiassi maggiori minori di 0,2-0,1 UA, dei quali non è stato ancora individuato il transito.

Un metodo molto rapido per capire se l'orbita è stata studiata, quindi confermato o escluso l'eventuale transito è di vedere se nei dati del pianeta è presente l'inclinazione orbitale o la massa esatta: se i dati non ci sono o non sono precisi, allora vuol dire questo è il candidato perfetto per andare alla caccia di un eventuale transito.

Le probabilità di transito di pianeti con orbite più strette di 0,1 AU sono di circa il 10%, non molte ma neanche poche.

In ogni caso è sempre meglio documentarsi più a fondo sulle proprietà del sistema planetario che si sta studiando attraverso una ricerca in internet degli articoli scientifici che riguardano questi oggetti, magari sul sito http://adsabs.harvard.edu/ o www.arxiv.org, siti web che contengono tutti gli articoli scientifici pubblicati dagli astronomi: ogni scoperta in questo ambito viene resa pubblica attraverso questi portali.

La tecnica da seguire è leggermente diversa rispetto alla ricerca ex-novo, poiché conosciamo già l'oggetto che dobbiamo studiare. Dobbiamo concentrarci, in questi casi, nel raggiungere

la migliore precisione possibile; in particolare, occorre seguire fotometricamente la stella per almeno un intero periodo orbitale del pianeta.

Se si segue questa tecnica, anche un eventuale insuccesso sarà positivo: possiamo non vedere il transito, ma se la precisione è sufficiente e il campionamento dell'orbita è totale, possiamo escludere che il pianeta in oggetto transiti. L'esclusione del transito è quasi importante quanto la sua identificazione, poiché consente agli astronomi di affinare la conoscenza di alcuni dati, quali l'inclinazione e la massa.

Ultimo ma non per importanza, potrebbe rivelarsi utile e sorprendente seguire fotometricamente anche le stelle con un transito noto, ma con più di un pianeta scoperto con altri metodi o comunque con anomalie che facciano ipotizzare alla presenza di altri corpi: in questi casi la probabilità di un secondo transito è tutto fuorché trascurabile! La ciliegina sulla torta potrebbe essere un gran colpo di fortuna: benché teorizzati, ancora nessuno ha mai rilevato il transito di un pianeta extrasolare dotato di un sistema di anelli ben sviluppato come quello di Saturno. È probabile che la strumentazione amatoriale, utilizzata al limite delle proprie possibilità, possa mettere in luce qualche leggera asimmetria nelle curve di luce dei pianeti gioviani già conosciuti. Provare non costa di certo nulla!

Tecnica di acquisizione delle immagini

Per raggiungere le precisioni necessarie dobbiamo far lavorare al limite la nostra strumentazione. Dopo aver scelto il nostro setup e il campo dobbiamo saper cosa fare, altrimenti rischiamo di buttare l'intera nottata. Ecco quindi le linee guida per avere successo già alla prima occasione. Le indicazioni si riferiscono a un pianeta di cui si conosce il transito, ma poi valgono anche quando e se ci addentreremo nei meandri della ricerca di nuovi pianeti:

1) Individuare, secondo il campo fornito dallo strumento e la camera CCD, le giuste stelle di paragone. Per giuste si intende stelle con luminosità e colori simili a quella da studiare, che non siano variabili e che non posseggano compagne luminose;

2) Individuare le stelle per la guida. Spesso è infatti difficile trovare una stella abbastanza luminosa per la guida, soprattutto se si utilizza una camera CCD con doppio sensore. Occorre fare delle prove preliminari (la sera prima del previsto transito) per trovare nel campo una stella adatta allo scopo;

3) Verificare il percorso che la stella compie in cielo nel corso della notte. Ci sono tre problemi legati a questo: l'altezza sull'orizzonte, la variazione del rapporto S/N e il salto del meridiano. Se si deve seguire un probabile transito con precisione di 2 millesimi di magnitudine, è del tutto inutile tentare di farlo quando la stella è a 10-20° di altezza sull'orizzonte. D'altra parte, occorre tenere in mente che aumentando l'altezza diminuisce la massa d'aria, quindi l'estinzione

atmosferica, con conseguente aumento della luminosità stellare, anche di 0,5 magnitudini. Occorre programmare questi sbalzi di luminosità e far in modo che l'esposizione cada sempre nella zona lineare del sensore e che il rapporto S/N non scenda troppo. Fate delle esposizioni preliminari per stimare il rapporto S/N raggiunto e capire se la precisione è sufficiente. Per avere degli ottimi dati vi serve un rapporto S/N di almeno 600; questo significa raccogliere, all'interno del disco stellare (tutto il disco stellare, non un punto!), almeno 1 milione di fotoelettroni (compresi quelli dovuti al fondo cielo). Si, ma che vuol dire? Per non sbagliare, se abbiamo una camera con antiblooming, un ottimo rapporto S/N si raggiunge quando la luminosità di picco della stella da studiare si assesta attorno al 50-70% di quella massima consentita dal sensore digitale. Se abbiamo camere con antiblooming, questo valore scende a un 30% circa ma a questo punto sarebbe molto consigliabile fare un test di linearità per avere le idee chiare. A prescindere da questo valore, servono sempre esposizioni superiori a 50-60 secondi per limitare l'ingerenza della scintillazione atmosferica. Per mia esperienza un ottimo compromesso si trova attorno ai 120-180 secondi. Se la stella ha un'elevata luminosità, il sensore satura prima di questo tempo limite. Una tecnica molto vantaggiosa è quella che prevede la sfocatura dell'immagine, anche di diversi pixel. In fotometria d'apertura ci interessa solo contare i fotoni e non come sono distribuiti, per questo la tecnica della sfocatura è ampiamente applicata da tutti gli astrofili. Se avete tempo, potete riprendere alcune serate

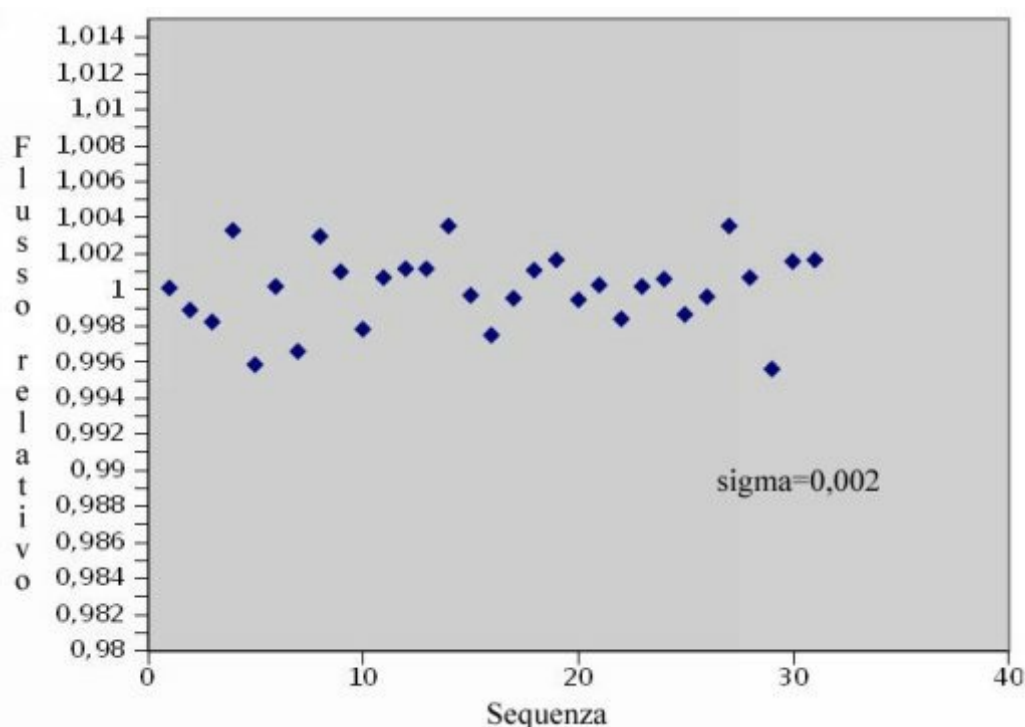
prima dell'evento da studiare delle immagini fotometriche variando esposizione e sfocatura, costruendo delle mini curve di luce e cercando la combinazione che dia il minor numero di incertezze.

Un problema serio è quello del salto del meridiano. I tubi ottici sistemati sulle montature commerciali richiedono, poco dopo il passaggio in meridiano dell'oggetto, di essere ruotati, altrimenti vanno a scontrarsi con il treppiede o con la montatura stessa. Questo salto provoca l'interruzione della sessione fotometrica e uno sfasamento (gradino) tra la curva di luce precedente e quella successiva. Si tratta, a tutti gli effetti, di due sessioni fotometriche distinte che non possono essere unite con sufficiente precisione se il salto viene fatto durante una fase variabile della stella che si studia. L'effetto è ancora più marcato nel caso dei transiti di pianeti extrasolari, mentre con le comuni variabili intrinseche regolari la congiunzione delle due sessioni è più semplice. Per quanto possibile, occorre che il fenomeno da riprendere abbia una durata e una geometria che non renda necessario ribaltare gli assi della montatura. Le moderne montature commerciali di tipo tedesco, equipaggiate con tubi lunghi oltre i 60 centimetri e sostenute da un treppiede (invece che da una colonna), sono quelle che sentono più questo problema.

4) Stazionare il telescopio in modo perfetto al polo, attivare e verificare che l'autoguida funzioni in modo perfetto, con la sfocatura selezionata, e riprendere frame di calibrazione accurati e frutto della media di almeno 15-20 singole immagini. Non modificare il setup

di ripresa nel corso di tutta la sessione osservativa.

Per tutti questi accorgimenti è necessario fare delle prove preliminari in serate antecedenti la sessione fotometrica, soprattutto se si cerca il transito di un pianeta extrasolare, un evento non sempre presente come può essere una stella variabile intrinseca, per la quale si può iniziare la sessione fotometrica quando le condizioni sono migliori e in giorni decisi dall'osservatore.

Con i dati raccolti nella serata di test e analizzati secondo i metodi che vedremo nel prossimo paragrafo, possiamo vedere quale precisione abbiamo raggiunto e se la nostra tecnica, dalla ripresa alla riduzione dei dati, è sufficiente per i nostri scopi.

Serata di prova sulla stella che ospita il pianeta TrEs-4 per testare la precisione raggiunta. Con un errore medio di 0,002 magnitudini, la strumentazione lavora al limite imposto per un'apertura di soli 25 centimetri e può rilevare con certezza transiti fino a 6 millesimi di magnitudine di profondità.

Una volta presi tutti questi accorgimenti siamo pronti per

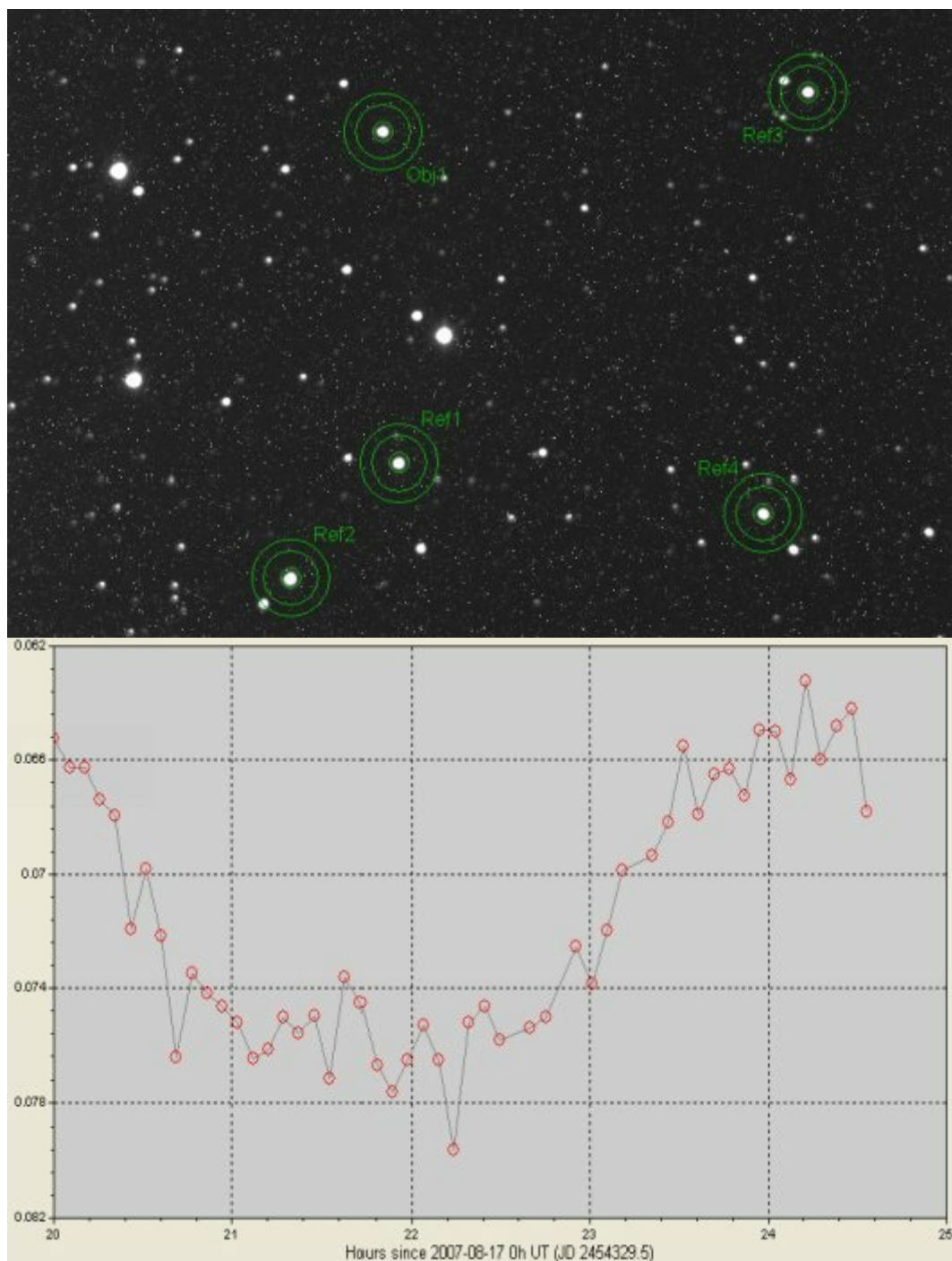
partire con la nostra serata fotometrica alla ricerca o studio di un transito planetario. Ecco come si procede, a grandi linee:

1) Con il telescopio già stazionato perfettamente durante le precedenti serate di test, e con il Sole non ancora tramontato, procedete ad orientare lo strumento secondo la configurazione che consente di non effettuare il salto del meridiano. Inserire tutti gli accessori, compresa la camera CCD munita del filtro R o IR, con l'orientazione scelta precedentemente per includere stelle di paragone e di guida. Sistemare i cavi in modo che durante il moto del telescopio non creino tensioni. Bilanciare accuratamente lo strumento;
2) Accendere la camera CCD e attendere il raggiungimento della temperatura di lavoro. Questa temperatura deve essere costante durante l'intera nottata fotometrica;
3) Trovare la posizione del focheggiatore che corrisponde al grado di sfocatura scelto nelle serate precedenti (ci siamo ricordati di annotarlo, vero?);
4) Riprendere le immagini di calibrazione, in particolare i flat field. Un ottimo metodo consiste nel puntare lo strumento allo zenit durante il tramonto del Sole (o poco dopo) e coprirlo con dei fogli da disegno bianchi. Molto importante è la configurazione esatta: l'orientazione, i filtri e soprattutto la messa a fuoco devono essere esattamente uguali alle immagini fotometriche che si andranno a riprendere. Anche per questo motivo occorre fare delle prove preliminari per trovare anche il giusto fuoco. Effettuate almeno 20-30 esposizioni con il migliore rapporto S/N possibile.

Questo significa lavorare con l'esposizione massima all'intero del range dinamico della camera, orientativamente con conteggi di picco compresi tra il 50 e il 70% di quelli massimi. Per convertitori ADU da 16 bit i conteggi di picco dovrebbero essere compresi tra 30000 e 45000. Questo dato dipende dal livello di saturazione del sensore e dalla sua risposta, secondo il test di linearità fatto. Se lavoriamo con sensori dotati di porta antiblooming (ahi ahi!) dovremo mantenerci su un valore del 25-30%. Stesse considerazioni per le riprese di luce sulla stella. Le immagini di flat sono immagini fotometriche a tutti gli effetti: devono possedere il minimo rumore casuale (dovuto al S/N; la scintillazione non è presente!);

5) Se si conosce il tempo di esposizione da utilizzare per la sessione fotometrica, potete riprendere anche i dark per i frame di luce. Se la temperatura del sensore è controllata elettronicamente e resta costante, non c'è bisogno di riprendere i bias frame, altrimenti vanno ripresi. Naturalmente tutte le immagini devono essere riprese in inning 1x1 ovvero alla massima risoluzione e con la temperatura controllata con una precisione al decimo di grado;

6) Quando arriva l'ora per iniziare, puntate lo strumento, senza toccare la camera di ripresa, verso la stella e, se avete già studiato in precedenza il campo, in pochi minuti riuscirete ad attivare l'autoguida e iniziare la sessione fotometrica. Impostate il tempo di esposizione e il numero di immagini fotometriche che volete riprendere, senza alcuna pausa tra l'una e l'altra, e lasciate che sia il

programma a gestire e salvare in automatico le pose. A questo punto il vostro lavoro è terminato; la vostra funzione, fino al termine delle pose, sarà solamente di controllare se tutto funziona a dovere. E’ bene ricordare che la durata delle esposizioni è frutto del bilanciamento perfetto tra rapporto S/N massimo, minima scintillazione e zona lineare del sensore digitale. Ricordatevi che la luminosità di picco della stella deve cadere sempre nel range lineare del sensore; neanche un pixel deve essere fuori valore, altrimenti perderete l’utilità scientifica della sessione fotometrica. Se l’autoguida fa il suo dovere egregiamente, alla fine della sessione la stella sarà rimasta concentrata esattamente sugli stessi pixel del sensore. Questo fatto è importantissimo poiché evita gli errori indotti dalla diversa sensibilità dei pixel e dalla presenza di gradienti dovuti al cielo (ad esempio la Luna). In effetti, Se l’autoguida funziona in modo perfetto diventa quasi superfluo effettuare i frame di calibrazione! La prova è nell’immagine seguente:

Se le pose sono perfettamente guidate durante tutta la sessione osservativa, il transito del pianeta si può vedere persino senza i frame di calibrazione, come testimonia la curva di luce sopra costruita dalle immagini grezze non calibrate. Naturalmente questo è solo un esempio di quanto conti un'ottima guida: i frame di calibrazione vanno sempre acquisiti!

A questo punto, terminata la sessione, possiamo andare a vedere in dettaglio la fase di analisi, in particolare quali software utilizzare e come fare in pratica fotometria d'apertura.

Tecnica di riduzione e analisi dei dati

Per i pianeti extrasolari in transito, la costruzione e l'estrapolazione dei dati cambiano in modo considerevole rispetto al caso delle stelle variabili viste nei volumi precedenti.

In questo paragrafo trascuriamo i già citati controlli da effettuare nel caso si ricerchino pianeti attraverso questo metodo e ci concentriamo sull'analisi e l'estrapolazione dei dati appartenenti a pianeti già scoperti con altri metodi, per i quali l'impronta lasciata nella curva di luce non lascia dubbi interpretativi e può essere analizzata con i metodi e le relazioni proprie dei pianeti extrasolari

A parte la calibrazione delle immagini, con relativi master dark frame e master flat field, procedimento standard in ogni applicazione fotometrica, vediamo come costruire e interpretare la curva di luce, tenendo presente che dobbiamo ricavare la massima precisione possibile.

Se si vuole affrontare uno studio serio, è richiesto che la curva di luce sia presentata in termini di flusso stellare (ADU o fotoelettroni) e non in termini di magnitudini. Dai dati fotometrici espressi in questo modo possiamo ricavare informazioni sul pianeta attraverso semplici formule, oppure, meglio, attraverso la sovrapposizione di una curva di fit, generalmente realizzata con il metodo dei minimi quadrati.

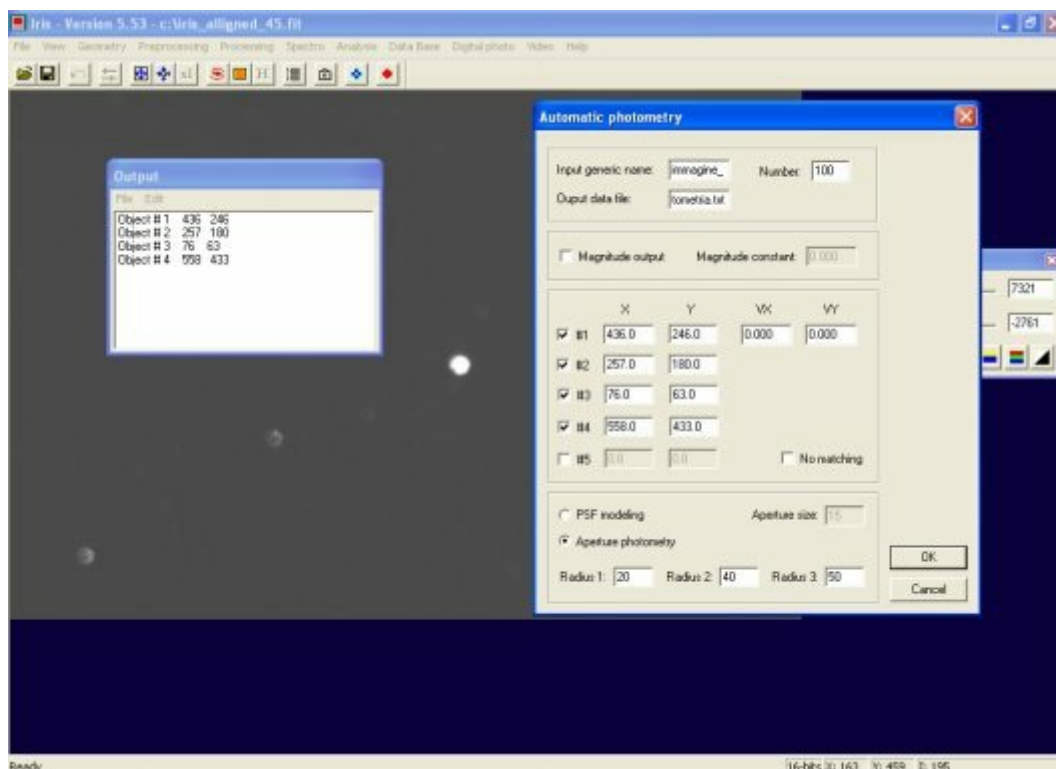
Sfortunatamente non esistono software commerciali che permettono questa rigorosa analisi, che dovrà essere semplificata ed eseguita manualmente. La cosa non è difficile se si ha dimestichezza con i fogli di calcolo quali Excel o Gnumeric e qualche formuletta che presto vedremo.

La curva di luce si ottiene in fotometria differenziale, come

per le variabili, confrontando quindi la luminosità della stella che stiamo studiando con quella di altri due-tre astri di luminosità simile sparsi ovunque nel campo ripreso.

Sebbene Maxim Dl permetta una costruzione estremamente semplice e veloce, ideale per avere subito un'idea di cosa si è ripreso, per andare più a fondo serve rigorosamente IRIS o altri programmi che consentano un output in ADU (o fotoelettroni), quali MIRA AP o il pacchetto gratuito IRAF utilizzato dagli astronomi di tutto il mondo. In queste pagine ci riferiamo a IRIS, sia per la relativa semplicità, sia perché si tratta di un programma totalmente gratuito che ha una diffusione capillare nella comunità amatoriale.

IRIS effettua una precisa fotometria delle stelle selezionate, fornendo in uscita un file di testo contenente le intensità delle stelle scelte (quella da studiare, quelle di riferimento e l'eventuale check star scelta per il controllo fotometrico). La curva di luce si dovrà costruire manualmente con un altro programma, partendo dal file tabulare in uscita da IRIS.

Il file contiene semplicemente la luminosità delle stelle. in termini di conteggi, in funzione del numero delle immagini. Questo è tutto quello che ci serve per costruire e analizzare la curva di luce.

Schermata della “Automatic Photometry” di IRIS, la finestra che ci consente di effettuare l’analisi fotometrica della nostra sequenza di immagini.

L’utilizzo di questo software non è proprio intuitivo. Un’ottima guida per la fotometria dedicata ai pianeti extrasolari si può trovare a questo indirizzo: www.danielegasparri.com/Italiano/extrasolari/manuale_extrasolari.pdf

JD	Star1	Star2	Star3	Star4
2454664.3214005	2827869	310535	222786	443346
2454664.3223032	2835505	299905	292414	401908
2454664.3232060	2830170	322824	259900	469497
2454664.3241088	2841481	314988	245831	458156
2454664.3250116	2840349	309429	232288	449532
2454664.3259144	2859279	302269	306603	414411
2454664.3268287	2843343	309540	307243	438349
2454664.3277546	2841409	318266	287559	462774
2454664.3286690	2836436	293613	312388	455875
2454664.3295718	2854679	311588	284069	466189
2454664.3304745	2853558	308454	279984	454770
2454664.3314005	2847897	308112	252231	457231
2454664.3323032	2830887	310914	277506	479528
2454664.3332292	2833767	309156	280212	439975
2454664.3341319	2864700	321317	294815	461068
2454664.3350347	2867270	299689	256013	449871
2454664.3359259	2861572	307777	277213	455412
2454664.3368287	2851410	303437	276397	452185
2454664.3377315	2829476	290767	277696	494871
2454664.3386574	2832534	316078	294339	448885
2454664.3395718	2842444	319377	291974	467938
2454664.3405093	2847528	298882	297758	461456
2454664.3414352	2810883	308615	261001	465102
2454664.3423380	2826687	295910	276250	451157
2454664.3432407	2808924	307002	290788	456969
2454664.3441435	2806528	292563	276754	455198
2454664.3450463	2811185	325484	287886	447012
2454664.3459491	2849476	310189	286531	451912
2454664.3468519	2861009	311440	305723	427236
2454664.3477778	2854778	297920	276472	457683
2454664.3486921	2855748	310934	291083	467373

Tabulato dei dati in uscita da IRIS dopo aver fatto la fotometria della nostra sequenza di immagini. La prima riga è stata aggiunta dopo al file di testo per renderlo meglio leggibile. Per ogni immagine (una riga) il programma riporta la data giuliana e la luminosità delle stelle selezionate, senza fare distinzioni tra quelle di riferimento e quella da studiare. Dobbiamo essere noi a ricordarci quali sono i ruoli delle diverse colonne in fase di costruzione della curva di luce, possibile con qualsiasi programma di foglio di calcolo.

Importiamo i dati in un programma di analisi statistica o in un foglio di calcolo e procediamo alla costruzione della curva di luce in forma grafica e alla stima delle incertezze.

In qualsiasi foglio di calcolo, come Excel o Gnumeric (quest'ultimo funziona anche sotto ambiente linux ed è gratuito) importiamo i dati in uscita da IRIS e cominciamo l'analisi.

La costruzione del grafico sarà solamente la parte finale e rappresenta il modo più sintetico e comodo per raccogliere e

sintetizzare tutte le informazioni ricavate in forma tabulare.

Prima di tutto si costruiscono le singole curve di luce considerando la stella da studiare e una stella di paragone alla volta, dividendo il flusso (conteggi ADU) della stella per quello di quella di paragone.

Se la Star1 è la stella da studiare e le Star2-3-4 sono quelle di paragone, otteniamo 3 curve di luce date da: $LC_1 = ADU_1/ADU_2$ $LC_2 = ADU_1/ADU_3$, $LC_3 = ADU_1/ADU_4$.

Questo passaggio intermedio è fondamentale perché dal confronto dei 3 grafici possiamo escludere la variabilità di una delle stelle di paragone e possiamo eliminare tutti gli eventuali dati privi di precisione perché magari rovinati dal passaggio di nuvole che fanno schizzare qualche punto delle curve di luce oltre i valori medi.

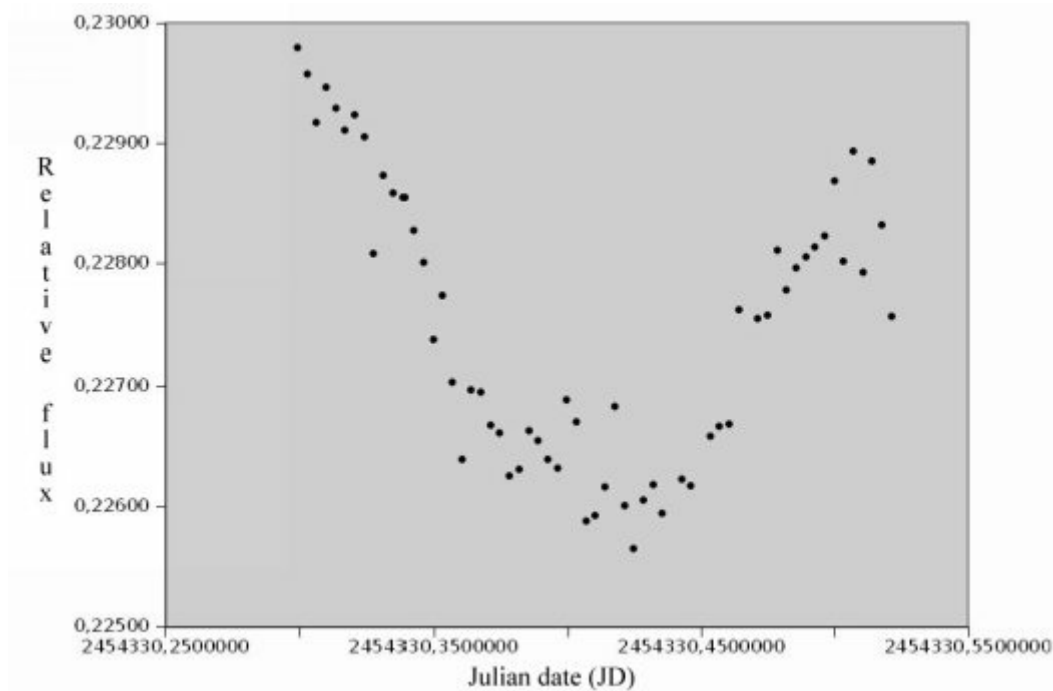
Questo processo facilita il riconoscimento di errori fotometrici abnormi o variabilità delle stelle, che può risultare difficile da identificare considerando la curva della stella da studiare, soprattutto se essa mostra un transito con una certa profondità.

Esclusi eventuali punti fuori scala e appurato che le tre curve di luce hanno lo stesso andamento di massima (questo significa che le stelle di paragone sono tutte buone) possiamo costruire la curva di luce definitiva. Se le singole curve di luce non mostrano lo stesso andamento, è probabile che una delle stelle di paragone sia una variabile e va quindi scartata. Non dimentichiamocene, però, perché è probabile si tratti di una variabile non ancora scoperta!

Ora siamo pronti per costruire la curva di luce definitiva, frutto del contributo di tutte le stelle di paragone buone, attraverso la semplice relazione: $LC_{final} = ADU_1/(\sum ADU_i)$. Questa

formula ci dice che se si hanno ad esempio 3 stelle di paragone, la curva totale sarà:

$$LC_{final} = ADU_1/(ADU_2 + ADU_3 + ADU_4).$$

Applicando questa relazione per ogni dato fotometrico attraverso il nostro foglio di calcolo, troviamo una serie di punti che formano finalmente la curva di luce in termini di flusso relativo.

Curva di luce grezza con le luminosità in termini lineari e non in magnitudini, costruita a partire dai dati tabulari dell'immagine precedente.

La curva è ancora piuttosto rozza ma si intravede benissimo la forma del transito planetario (in questo esempio!).

Adesso abbiamo due possibilità: fermarci ora e avvisare qualche nostro amico, magari astronomo, oppure pubblicare i dati e far fare agli altri i calcoli, oppure andare avanti e provare a far qualcosa con le nostre forze.

Se siamo così impavidi e curiosi, ecco cosa c'è da fare: lavorare per rendere meglio leggibili le informazioni quantitative contenute.

Prima di tutto notiamo una certa pendenza; questa tendenza, detta in inglese trend, è da imputare a qualche errore sistematico che si è ripetuto in tutti i dati fotometrici. La causa è da ricercare nel metodo di fotometria differenziale che non tiene conto della diversa massa d'aria tra le stelle utilizzate nel corso della notte, accentuata dalla eventuale differenza di colori.

A prescindere da cosa sia prodotto, dobbiamo eliminare questo errore, che essendo sistematico è facile da individuare e correggere, a patto di avere un numero sufficienti di punti fuori dal transito (e in questo nostro esempio forse no ce ne sono abbastanza).

Concettualmente dobbiamo trovare l'equazione della retta che meglio approssima la pendenza e sottrarre questa pendenza a ogni dato fotometrico.

In pratica dobbiamo fare quella che in gergo statistico si chiama regressione lineare, ovvero trovare, a partire dai dati sperimentali, una retta che meglio approssima l'andamento globale, trascurando, ovviamente, quello dovuto alla variabilità della stella.

Ogni foglio di calcolo permette di fare ciò a partire dai dati in nostro possesso.

Nel caso dei transiti planetari, è preferibile fare la regressione lineare solamente sui valori costanti, fuori dal transito (detti OOT, ovvero Out Of Transit), altrimenti, per gli utenti più esperti, si può sovrapporre alla curva di luce quello che si chiama best fit e successivamente depurare il grafico dal trend; quest'ultimo approccio, però, richiede software specifici o una certa esperienza di calcoli statistici.

Il metodo manuale è semplice: si scelgono almeno 10 punti fuori dal transito, o, in alternativa tutto il transito se i punti fuori

non sono sufficienti, e si costruisce la retta di regressione; non è necessario fare tutta l'analisi, ma semplicemente capire coefficiente angolare (pendenza) e intercetta (punto di intersezione con l'asse y) della retta che rappresenta la migliore approssimazione dei dati. Excel o Gnumeric hanno due funzioni specifiche per questo: "slope" ci da il coefficiente angolare, ovvero la pendenza, e "intercept" fornisce l'intercetta della retta con l'asse y. Una volta ottenuti questi valori dobbiamo correggere la nostra curva di luce ed eliminare la pendenza attraverso semplici relazioni matematiche.

L'equazione della retta che descrive l'andamento è data da y = slope·x+intercept. Per comodità prendiamo come riferimento il primo punto fotometrico, attorno a cui faremo "ruotare" tutta la curva.

In quanto affetto da errori, però, non possiamo prendere il suo valore, ma dobbiamo considerare il valore y della retta di regressione che corrisponde all'ascissa x del primo punto fotometrico.

Per trovarlo basta sostituire la x, che di solito è in minuti, data giuliana o in fase (meglio evitare la data giuliana perché potrebbe dare problemi di calcoli), nell'equazione della retta di regressione e troveremo il nostro punto y.

Prima di vedere la formula, ci serve di capire quanto vale l'angolo di cui ruotare la curva, meglio, il suo valore assoluto, che è dato dalla formula:

$$\alpha = |\mathrm{arctg}(slope)|$$

Ora correggeremo tutti i valori di flusso (y) secondo un fattore di correzione dato da:

$$\Delta y = \sqrt{[(x_n-x_1)^2-(y_n-y_1)^2]}\cdot \mathrm{sen}(\alpha)$$

Bisogna far attenzione alle grandezze: x_n sono i punti x, cioè

i tempi della nostra sequenza, mentre x_1 è sempre il tempo riferito al primo punto. y_n sono i valori di luminosità della sequenza fotometrica e y_1 il valore della retta di regressione calcolato in x_1 che abbiamo calcolato poco fa.

Siamo ora quasi alla fine, perché i valori che otterremo rappresentano le correzioni da dare ai valori dell'asse Y, cioè le luminosità, che diventeranno quindi:

$$y_{corretta} = y + \Delta y$$

Sembra complicato, ma se abbiamo già un minimo di dimestichezza con i fogli di calcolo non c'è bisogno neanche di capire le operazioni che dobbiamo fare, poiché pensano a tutto le funzioni già presenti nei programmi.

X (tempo)	Y (luminosità)	fattore correzione deltaY	y corretta
1	11.3	0.1363239744972	11.4363239744972
2	10.2	0.96757017236009	11.1675701723601
3	8.89	2.13854553405578	11.0285455340558
4	7.98	3.10306599968335	11.0830659996834
5	6.93	4.14094578215423	11.0709457821542
6	5.7	5.27270409348406	10.9727040934841
7	5.2	6.02800335480243	11.2280033548024
8	3.76	7.26495167296797	11.024951672968
9	2.98	8.16397956781937	11.1439795678194
10	2	9.16602988601201	11.166029886012
11	0.89	10.2344088337929	11.1244088337929

slope (pendenza)
−1.025000000

intercept
12.1345454545455

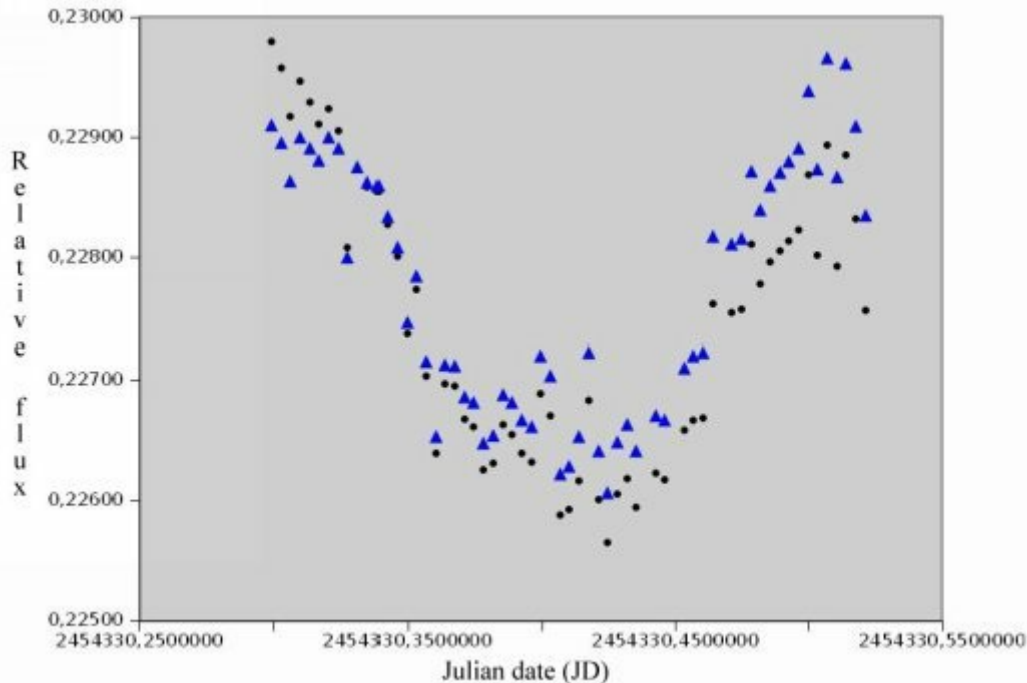
equazione retta regressione
y=-1.025x+12.13454

y1 calcolato da retta
11.1095454

Valore assoluto angolo alpha (radianti)
0.79774321524167

seno dell'angolo alpha
0.71578194837721

Esempio di correzione del trend su un gruppo qualsiasi di dati che

sappiamo essere costanti, quindi disporsi in linea di principio su una retta parallela all'asse x. Attraverso le funzioni slope e intercept, disponibili in qualsiasi foglio di calcolo, e le formule esposte nel testo, possiamo rapidamente cancellare l'andamento artificiale e avere a disposizione dati depurati che possiamo finalmente leggere.

L'eliminazione del trend nelle curve di luce dei pianeti extrasolari rappresenta un importantissimo passo se vogliamo scoprire le loro principali proprietà.

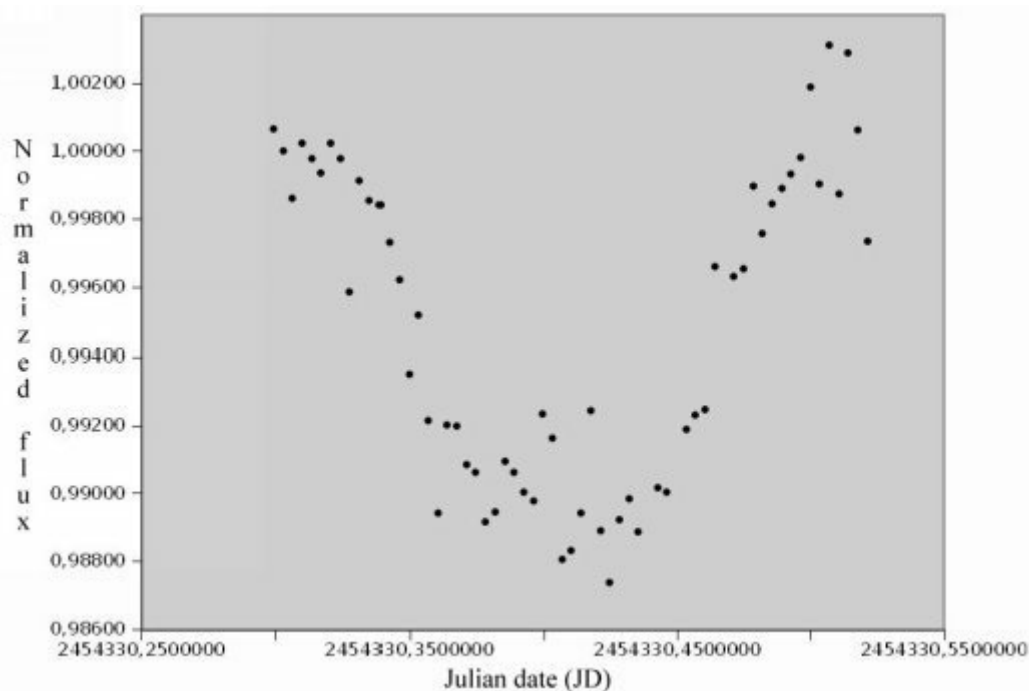
Naturalmente se ci accontentiamo della curva di luce "grezza" che mostra già il transito, possiamo tranquillamente fermarci e avvisare chi di dovere per eventuali ulteriori misurazioni, ma è bello e stimolante cercare di capire con le nostre forze.

La curva è ora corretta ma deve essere analizzata ulteriormente. Per farlo dobbiamo innanzitutto cambiare la scala dei valori dell'asse y, per il momento in unità di flusso relativo (flusso stella/flusso somma delle stelle di riferimento). Dobbiamo fare quella che si chiama normalizzazione, una brutta parola per dire che dobbiamo dividere tutti i dati per un valore, detto valore di zero o punto di normalizzazione, che rappresenta il flusso stellare medio in una zona non variabile della curva di luce, cioè

fuori dal transito.

La normalizzazione è semplice, se si possiedono abbastanza dati della curva di luce fuori dal transito; è proprio questo il motivo principale per il quale si consiglia di allungare la sequenza fotometrica ad almeno 2 ore prima e dopo il transito.

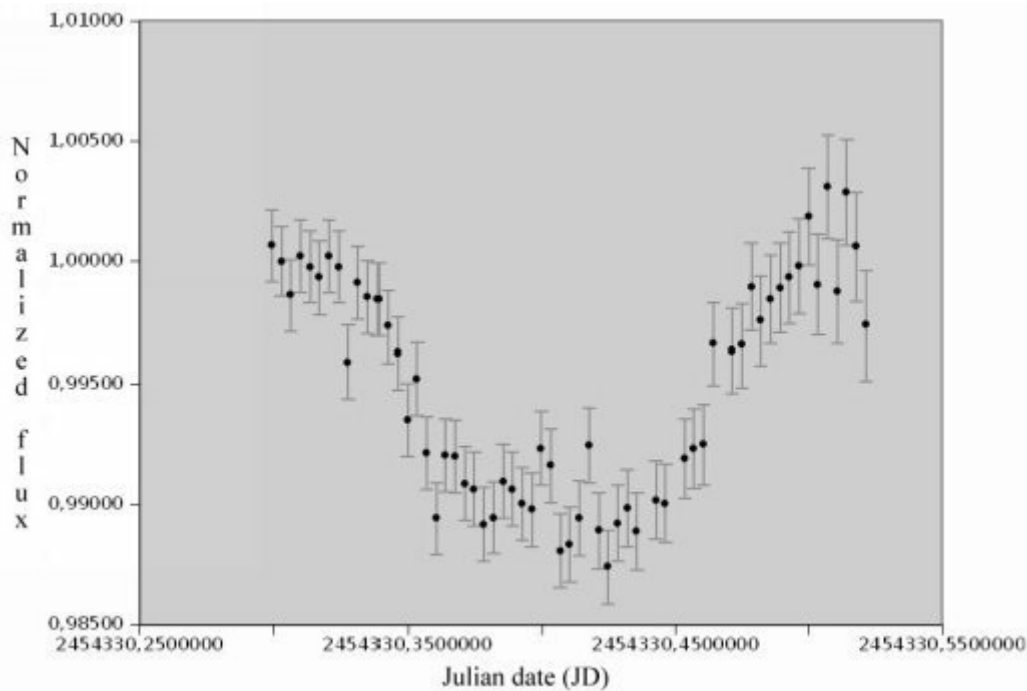
Trovare il punto di normalizzazione è fondamentale per estrapolare dati importantissimi dalla curva di luce, quali il raggio planetario, l'inclinazione orbitale, la massa e la densità media. Se non lo faremo noi lo dovranno fare gli astronomi e senza i punti fuori transito la cosa sarà impossibile.

A causa delle incertezze nelle misurazioni, il punto di normalizzazione non è ben definito. Per rendere minimi gli errori possiamo fare la media delle luminosità dei punti fuori transito. Ogni foglio di calcolo ha una funzione di media, alla quale dobbiamo dare in pasto solo le misure di luminosità (quindi non i tempi!) fuori dal transito. Il valore che troviamo rappresenta l'approssimazione migliore del flusso stellare quando il pianeta non gli passa di fronte ed è questo che verrà preso come unità. In che modo? Semplicissimo: dividiamo tutti i valori di luminosità (asse Y) per questo valore ed otterremo finalmente il grafico normalizzato:

Facendo la media dei valori di luminosità dei punti fuori dal transito otteniamo la migliore approssimazione della luminosità della stella. Dividendo tutte le luminosità (anche quelle del transito) per questo valore otterremo la curva di luce scalata, detta normalizzata, in cui la luce della stella fuori dal transito è presa come unità. Ora potremo leggere i dati del pianeta, ma prima, meglio mettere gli errori.

La curva è completa e contiene tutti i dati che si possono estrapolare in merito al pianeta, nella loro massima precisione.

Per completezza e per aggiungere valore scientifico, possiamo inserire le incertezze attraverso delle barre di errore. Generalmente ci si riferisce sempre all'errore di 1 volte sigma, ovvero a sigma, ma è sempre bene specificare e soprattutto tenere presente che la soglia di certezza di una rilevazione è di tre volte sigma.

Il calcolo delle incertezze è del tipo già descritto nel volume 5 ed è facile da effettuare con qualsiasi foglio di calcolo. In questi casi ci viene in aiuto anche il fatto che per curve di luce che variano così poco l'errore espresso in magnitudini tende a coincidere con l'errore in flussi normalizzati, quindi si possono calcolare le incertezze con le formule per le magnitudini e far

finta che stiamo parlando di errori della nostra curva di luce normalizzata in flussi.

Le barre di errore danno un'aria molto più professionale alla nostra curva di luce, ma non possono essere messe lì a caso. Bisogna ricordarsi le formule per la stima delle incertezze viste nel volume 5.

A questo punto dalla curva si possono estrapolare dati quantitativi e qui, purtroppo, l'astrofilo si scontra con una carenza di software accessibile che rende difficoltosa l'analisi.

I professionisti effettuano quello abbiamo chiamato best fit, ovvero sovrappongono a questi dati sperimentali una curva matematica ideale dell'evento, in modo tale che rappresenti la migliore approssimazione dei dati sperimentali.

La curva di best fit rappresenta un modello teorico del transito osservato e viene costruita variando dei parametri fisici quali l'inclinazione orbitale, il raggio e la massa del pianeta, che vengono così univocamente determinati, con un errore minimo, dalla sovrapposizione con i dati sperimentali.

Sfortunatamente non esistono in commercio programmi che

permettono questa analisi e gli astrofili hanno due strade da percorrere:

1) al posto della curva di fit cercano di estrapolare dati attraverso alcune formule, che analizzeremo meglio tra poco;
2) Si rivolgono ad un professionista o a qualche gruppo di ricerca che mette a disposizione competenze e il software necessario per un'analisi migliore. In Italia il gruppo UAI dedito ai transiti extrasolari (http://it.groups.yahoo.com/group/transitiextrasolari/), mette a disposizione esperienze e software di analisi appositamente progettati per estrapolare dati di livello professionale.

Come succede spesso anche negli ambiti professionali, il confronto tra più osservatori rende possibili calcoli, precisioni e conoscenze che raramente il singolo può raggiungere, per questo consiglio a tutti di entrare a far parte di un gruppo di ricerca.

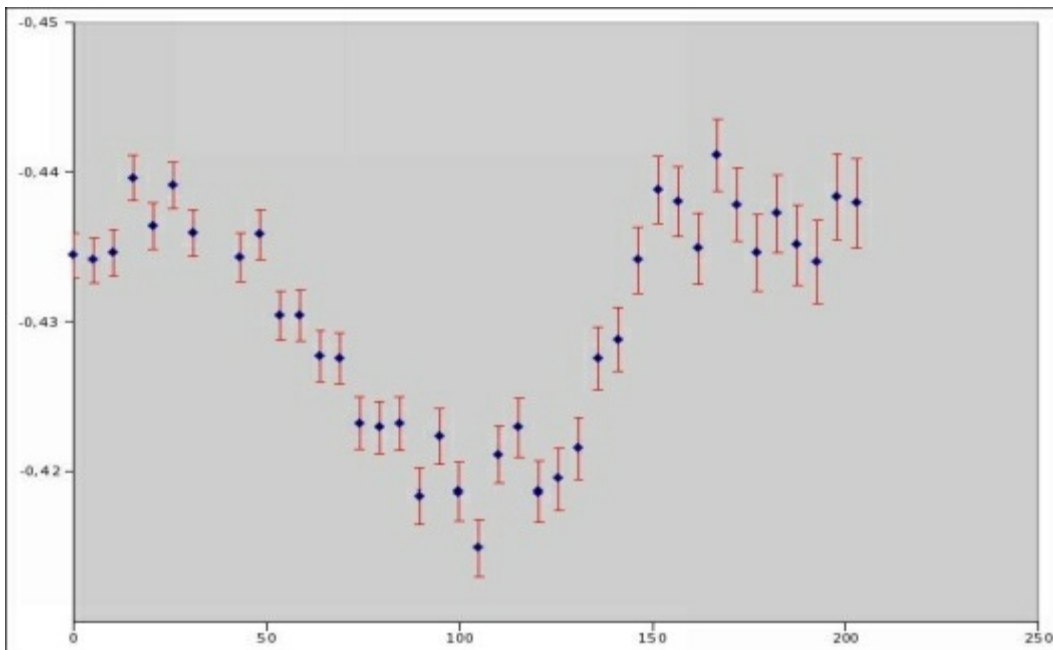
Per una guida completa alla fotometria con IRIS si può leggere questo esaustivo manuale:

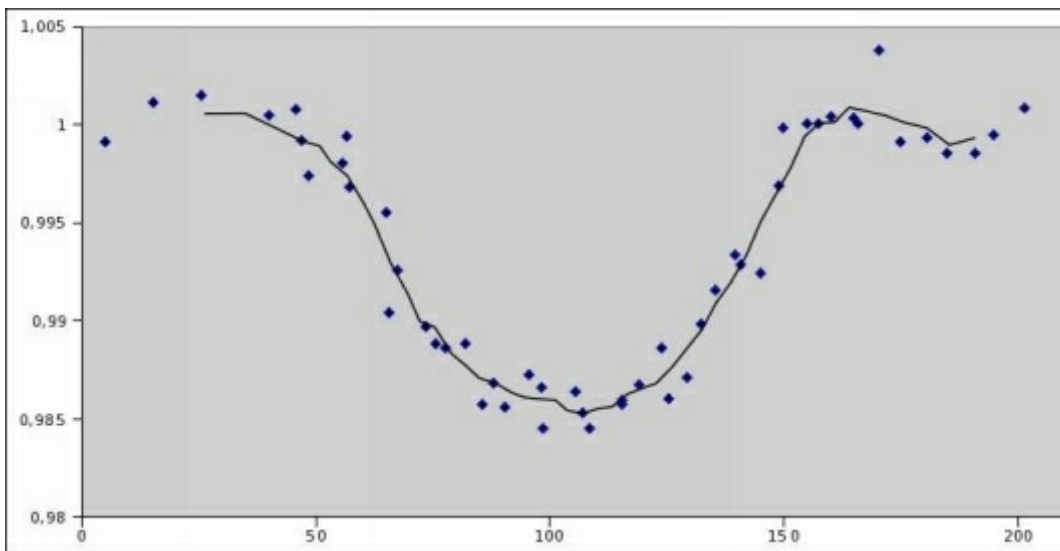
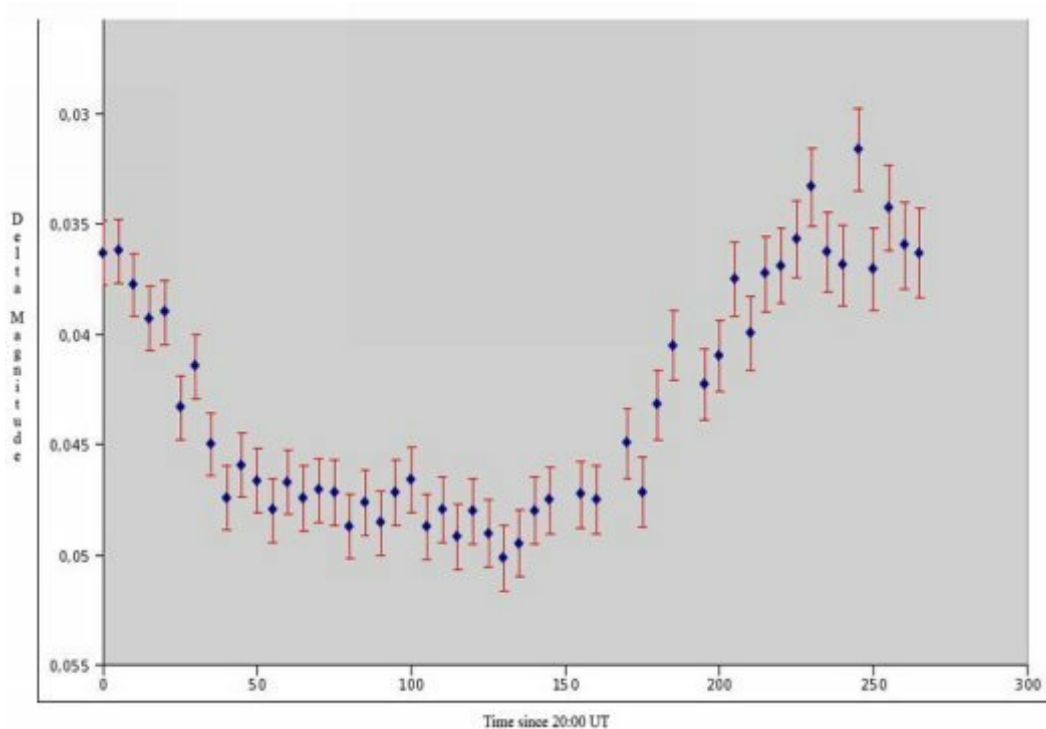
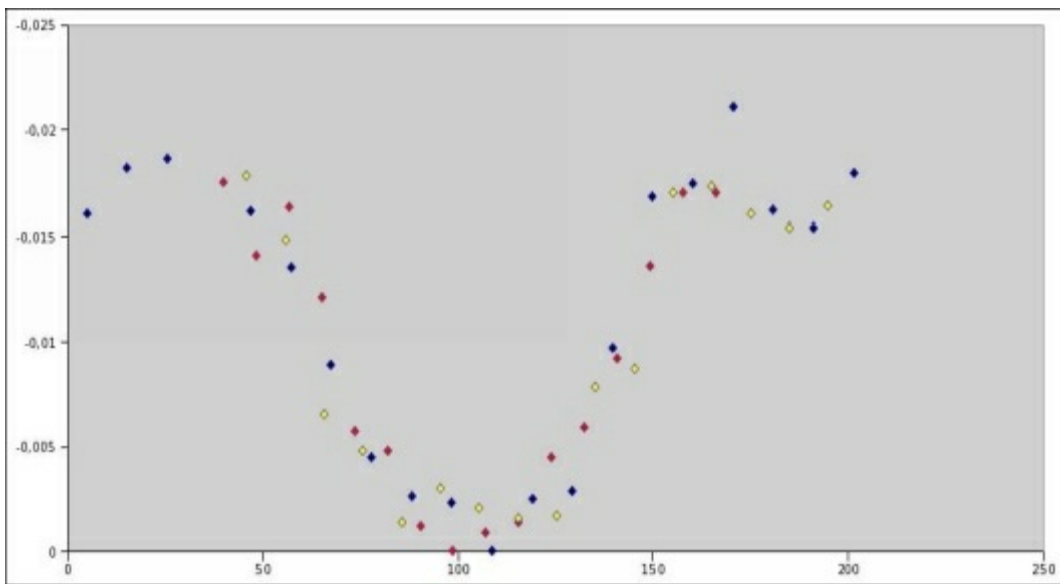
www.danielegasparri.com/Italiano/extrasolari/manuale_extras

Se volete far pratica e cercare di riprodurre i risultati delle figure precedenti, al seguente indirizzo è possibile scaricare la mia sessione di riprese sul pianeta extrasolare TrEs-4, quello su cui si sono sviluppati tutti i calcoli visti. Nel file compresso si trovano i frame di calibrazione, le immagini di luce e un'immagine del campo inquadrato per identificare la stella da studiare:

www.danielegasparri.com/Italiano/extrasolari/TrEs-4_transit.rar

Buone elaborazioni!

Risultati ottenibili

Transito del pianeta extrasolare TrEs-2 un gigante gassoso 1,24 volte più grande di Giove che eclissa il disco della propria stella ogni 3,5 giorni. Il calo di luce è solo dell' 1,5% ma è facile da riconoscere in questa curva di luce, ottenuta con un telescopio newtoniano da 25 cm e camera CCD per astronomia (SBIG ST-7XME; 1-2 Settembre 2007, dalle 22:45 UT).

I risultati ottenibili sono entusiasmanti. Un telescopio da 25 cm munito di camera CCD permette di arrivare a precisioni inferiori a 2 millesimi di magnitudine, simili a quelle che spettano ai grandi telescopi professionali (ad esclusione di quelli posti fuori dalla nostra atmosfera). Con la giusta tecnica si possono rilevare transiti con profondità fino a 4 millesimi di magnitudine, quindi, in teoria, rilevare pianeti le cui dimensioni sono fino a 18 volte inferiori a quelle della propria stella. Questo significa scoprire pianeti fino a due volte più piccoli di Giove (in termini di dimensioni, non di massa) attorno a stelle simili al Sole o solamente 2 volte più grandi della Terra per le stelle di classe M.

Curva di luce di TrEs-2.

Transito del pianeta extrasolare TrEs-4 (18 Agosto 2007) che ha prodotto un calo di solo 1/100 di magnitudine. Sono visibili anche le barre d'errore, che devono essere sempre presenti in ogni misurazione scientificamente valida.

Curva di luce che raccoglie 3 transiti del pianeta TrEs-2. La perfetta sovrapposizione indica l'ottima precisione e stabilità dell'apparato fotometrico. (26-31 Luglio; 1 Settembre 2007)

A chi rivolgersi

Se avete letto le pagine precedenti, avrete capito che questo progetto di ricerca è in piena fase di sviluppo. Per questo motivo manca un coordinamento forte e preciso come può essere l'AAVSO per gli osservatori delle stelle variabili o il Minor Planet Center per gli asteroidi. Fortunatamente gli astrofili italiani sono avvantaggiati dalla presenza di un gruppo molto forte e preparato, per di più che parla la nostra lingua! Ecco la lista dei siti e/o gruppi da consultare per avere tutto il supporto necessario:

- Il gruppo italiano di ricerca dei pianeti extrasolari: http://it.groups.yahoo.com/group/transitiextrasolari/ è estremamente attivo e competente, diretto dall'astronomo Mauro Barbieri. L'adesione al gruppo, aperto ad ogni appassionato, è fortemente consigliata. All'interno, oltre alla competenza delle persone che lo frequentano, troverete guide, suggerimenti, liste e alert di osservazione. La possibilità di interazione con gli utenti la partecipazione molto produttiva e del tutto simile ai gruppi di ricerca professionali;
- http://tech.groups.yahoo.com/group/Exoplanet_Astron controparte in lingua inglese del gruppo sui pianeti extrasolari italiano. Anche in questo gruppo, composto da astronomi e astrofili principalmente americani, troverete indicazioni e consigli molto utili;
- Enciclopedia dei pianeti: http://exoplanet.eu un supporto sempre aggiornato che vi fornisce i

cataloghi completi dei pianeti scoperti e una panoramica sui metodi di scoperta;

- Amateur exoplanet archive contiene la lista aggiornata di tutti i pianeti in transito e raccoglie le curve di luce degli astrofili: http://brucegary.net/AXA/x.htm
- L'astrofilo Bruce Gary è l'amatore più esperto di pianeti extrasolari in transito. Il suo sito web è una miniera di informazioni indispensabili per i principianti e i più esperti: http://www.brucegary.net
- La società astronomica della Repubblica Ceca gestisce un sito dedicato ai pianeti extrasolari in transito ricco di informazioni e a cui possono contribuire astronomi e astrofili con le proprie osservazioni: http://var2.astro.cz/ETD/

Come ricavare preziosi dati dall’analisi di un transito planetario. Il caso di HD17156b

In questo paragrafo, a conclusione del capitolo sulla ricerca e studio dei transiti dei pianeti extrasolari, è riportata la cronaca della scoperta e della successiva analisi di un transito di un pianeta extrasolare effettuata con la mia personale strumentazione amatoriale. La scoperta, definita storica da importanti ricercatori, tra cui Sara Seager del MIT, uno dei massimi esperti di pianeti extrasolari, è la prova più forte che semplici appassionati del cielo, con volontà di scoprire ed un buon metodo, possono essere protagonisti del progresso scientifico dell’intero genere umano.

Spero che si riescano a percepire le emozioni di quegli istanti concitati e magici, che non dimenticherò più per il resto della mia vita.

La notte tra il 9 e il 10 settembre 2007, l’astronomo Mauro Barbieri, specializzato nello studio dei pianeti extrasolari, avverte un gruppo di astrofili, già specializzati nelle riprese fotometriche ad altissima precisione, che il pianeta HD17156b, scoperto con la tecnica delle velocità radiali, aveva una probabilità di circa il 12% di effettuare un transito durante quella notte. L’opportunità era ghiotta: si sarebbe potuto scoprire, per la prima volta nella storia con strumentazione amatoriale, il transito di un pianeta, per di più estremamente peculiare, poiché con un periodo di 21 giorni (il più lungo fino a quel momento) e con un’orbita fortemente eccentrica, molto simile a quella delle comete del nostro sistema solare.

Tutti i pianeti in transito scoperti fino a quel momento avevano orbite pressoché circolari e periodi di rotazione al

massimo di 5 giorni.

Data la bassa probabilità di transito, quasi nessun telescopio professionale si sarebbe concentrato sul pianeta quella sera, per problemi di tempo e risorse, per questo l'occasione offerta agli astrofili era davvero ghiotta.

Non sto qui a fare la cronaca dettagliata di quella notte fantastica, fatta di speranze e problemi, di illusioni svanite e di adrenalina crescente quando sembrava esserci una piccola speranza di aver ripreso il transito.

Quella notte il pianeta passò davanti alla stella e i nostri telescopi riuscirono a mettere in evidenza il debolissimo calo di luce: avevamo scoperto un pianeta, un pianeta tutto nostro, visto da noi per la prima volta!

Ricavare preziosissime informazioni

Dopo le prime concitate ed emozionanti fasi, piene di scambi di mail e controlli incrociati dei dati, giunse il momento di fare le cose sul serio e di cominciare ad estrapolare le informazioni quantitative raccolte. Era arrivato il momento di mettere da parte quell'emozione incontrollata e fare tutti i controlli e calcoli necessari per dare valore a questa straordinaria scoperta.

Una volta che i dati fotometrici sono stati puliti ed estrapolati, si è passato all'interpretazione e a ricavare le informazioni quantitative sul pianeta.

La costruzione della curva di luce ha seguito le seguenti fasi:

1) Calibrazione e selezione delle immagini: quelle vistosamente rovinate dalle nubi sono state eliminate.

2) Media delle immagini a gruppi di 13 per ottenere la massima precisione. Questo metodo è sconsigliato dai professionisti, che preferiscono avere singole immagini piuttosto che la media a posteriori (detta binning). Nel caso di HD17156 le singole esposizioni, di 30 secondi, non possedevano la necessaria precisione e la tecnica della sfocatura non poteva essere applicata in quanto presentava problemi con l'autoguida. In questo caso, e solo in questo caso, si è preferito, quindi, fare esposizioni a fuoco (o quasi) e mediarle in fase di elaborazione per aumentare la precisione. E' stato creato un altro set, composto da immagini mediate a gruppi di 6, per un controllo e per evidenziale meglio gli istanti di inizio e fine transito.

3) Con le 25 osservazioni ad alta precisione, si è

effettuata l'analisi in fotometria d'apertura con IRIS, che ha fornito in uscita il file testuale con riportate le intensità della stella da studiare e delle tre stelle di paragone utilizzate.

4) Si sono importati i dati in un foglio di calcolo, nel caso specifico in Gnumeric, gratuito e funzionante sia con Windows che con Linux.

In Gnumeric si è costruita una curva di luce di controllo delle stelle di paragone, per vedere se esse possedevano la giusta precisione e scongiurare eventuali variabilità fisiche. In pratica, si sceglie una delle stelle di paragone e si costruisce la curva di luce dividendo la sua intensità per la somma delle altre due stelle di paragone, trascurando, in questa fase, la stella da studiare. Il grafico risultante ha mostrato un andamento lineare, con poca dispersione dei dati: le stelle scelte sono tutte adatte. Dopo questo controllo si è costruita la curva di luce di HD17156, sempre a partire dalle intensità e secondo la relazione già vista:

$LC = ADU_{HD17156}/ (ADU_2+ADU_3+ADU_4)$.

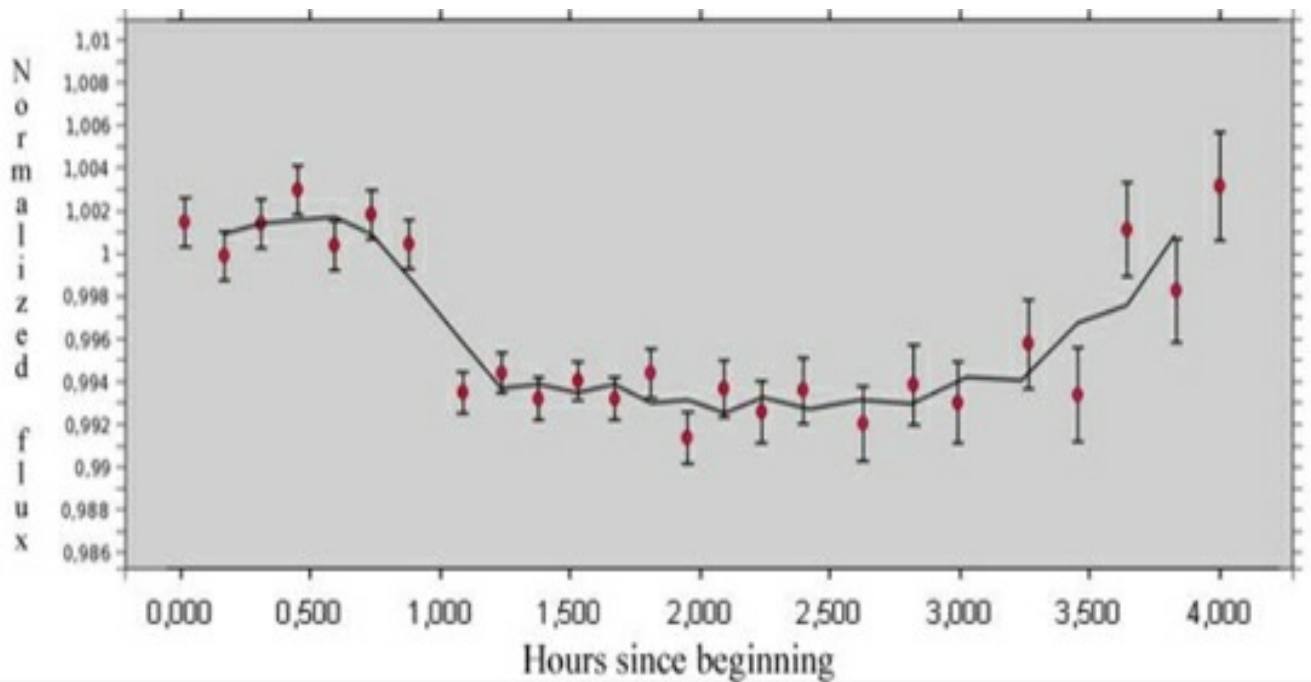
5) Si è costruito un grafico preliminare per un controllo sulla bontà dei dati. Dal grafico è emerso un dato fotometrico con un errore oltre 3 volte quello medio, che si è quindi scartato

6) Stima degli errori dovuti alla scintillazione e al rapporto S/N; somma quadratica per le incertezze totali.

7) Controllo della stima delle incertezze, utilizzando la funzione deviazione standard di Gnumeric (Excel ne ha una identica). La deviazione standard,

calcolata su dati che non presentano variazioni dovute al transito, mostra un valore molto simile all'errore medio calcolato: la stima è quindi stata corretta!

8) Normalizzazione.

La curva di luce è pronta per essere visualizzata e analizzata.

Curva di luce originale che testimonia l'avvenuto transito del pianeta di fronte alla propria stella.

La curva di luce in forma grafica è utile solamente per avere un'idea e per dare informazioni qualitative immediate agli altri astrofili e astronomi. I dati si ricavano sui valori numerici che compongono la curva di luce, non certo sul grafico, ma qui per ragioni estetiche e di spazio, vi risparmio un antiestetico listato pieno di numeri incomprensibili!

Ai dati che originariamente erano la data giuliana e le intensità delle stelle usate per la fotometria, ora si sono aggiunte almeno altre 5 colonne, ovvero: la curva di luce, la curva di luce normalizzata, gli errori causati dalla scintillazione, quelli dal rapporto S/N, la stima totale. In questo modo la curva di luce può

dirsi completa e possiamo cominciare a ricavare i dati che ci servono: deviazione standard fuori dal transito, quella dei punti in transito, profondità e la durata del transito. Questo ultimo dato non è facile da determinare, soprattutto per profondità piccole che richiedono elevate precisioni, a scapito, generalmente, del campionamento temporale.

La deviazione standard serve per la propagazione delle incertezze sulle grandezze ricavate.

E' utile costruire una tabella con i dati letti dalla curva di luce.

Numero dati utili = 25	Sigma dei 7 punti fuori transito = 0,001
Sigma dei 13 punti in transito = 0,0009	Sigma della media dei 7 punti fuori transito = 0,0004
Sigma della media dei 13 punti in transito = 0,0003	Flusso medio dei 13 punti in transito: $F_{transit} = 0{,}9933 \pm 0{,}0003$
Profondità del transito: $\Delta F = 1 - F_{transit} = 0{,}0065 \pm 0{,}0005$	Durata stimata: $D = (9000 \pm 600)$s

Per estrapolare le informazioni in merito al pianeta e all'orbita, ci servono altri dati che non possiamo ricavare direttamente, disponibili però negli articoli di scoperta con il metodo delle velocità radiali. Dall'articolo degli autori della scoperta, (http://Arxiv.org/pdf/0704.1191v2.pdf) ricaviamo i seguenti dati stella-pianeta:

$M_* = (1,2 \pm 0,1)\ M_{Sun}$ (massa della stella)	$e = 0,67 \pm 0,08$ (eccentricità orbita planetaria)
$R_* = (1,47\ +0,13\ -0,17)\ R_{Sun}$ (raggio stella)	$\Phi = (329 \pm 11)°$ (orientazione orbita pianeta)
a = 0,15 AU (semiasse maggiore pianeta)	

Con i dati che abbiamo appena ricavato, con quelli di cui disponiamo dalle analisi eseguite da altri osservatori attraverso la fotometria (raggio stella) e la misura delle velocità radiali (parametri orbitali), siamo in grado di stimare le grandezze relative al pianeta, ricavabili solamente analizzando un transito.

Nel nostro caso possiamo ricavare:

1) Raggio.

Il raggio planetario è collegato al raggio stellare e alla profondità del transito, come visto. Nel nostro caso si ha: $R_p = (1,226\ +0,130 - 0,155)\ R_J$. L'errore totale deriva dalla propagazione degli errori della relazione, ma, come si può ben vedere, è molto simile all'incertezza nella stima del raggio stellare, molto maggiore dell'incertezza con cui è conosciuto il flusso.

2) Durata massima del transito (i = 90°). Questo dato è fondamentale per ricavare l'inclinazione.

Se supponiamo che il disco stellare abbia forma sferica e che sia trascurabile l'oscuramento del bordo (limb darkening), la formula per la durata massima del transito, ovvero la durata che avrebbe il transito se l'orbita del pianeta fosse vista con un'inclinazione di 90°, è data da:

$D_{max}^2 = 4R_{Tot}^2 / [GM_{tot}(2/r-1/a)]$

dove $r = a(1-e^2) / [1+e\cos(\phi)]$, quindi:

$D_{Max} = (9{,}905 +1{,}693 – 1{,}822)h$

3) Inclinazione. L’inclinazione orbitale si può calcolare dalla durata del transito e dalla durata massima appena ricavata. Essa è estremamente importante per determinare in modo univoco la massa, altrimenti conosciuta come il prodotto Msin(i). La relazione per il calcolo dell’inclinazione, che tiene conto dell’eccentricità orbitale (in questo caso 0,67, molto elevata) è:

$i^2 = \arccos (R_{tot}^2/r^2 – D^2 R_{tot}^2/D_{Max}^2 r^2)$ □ $i = (87{,}881 + 0{,}685 – 0{,}702)°$;

4) Massa. La massa esatta si po’ ricavare semplicemente dalla relazione:

$M_P = M\sin(i)/\sin(i) = (3{,}12213 + 0{,}00138 – 0{,}00141) M_J$;

5) Densità media. A questo punto, supponendo il pianeta sferico, possiamo calcolare la densità media:

$<\rho> = M_P / V = (2{,}144 + 0{,}68 – 0{,}83)$ g/cm^3, dove V è il volume del pianeta, supposto sferico, quindi $V = 4/3\ \pi R_p^3$.

In questo caso il valore trovato indica un corpo sostanzialmente gassoso.

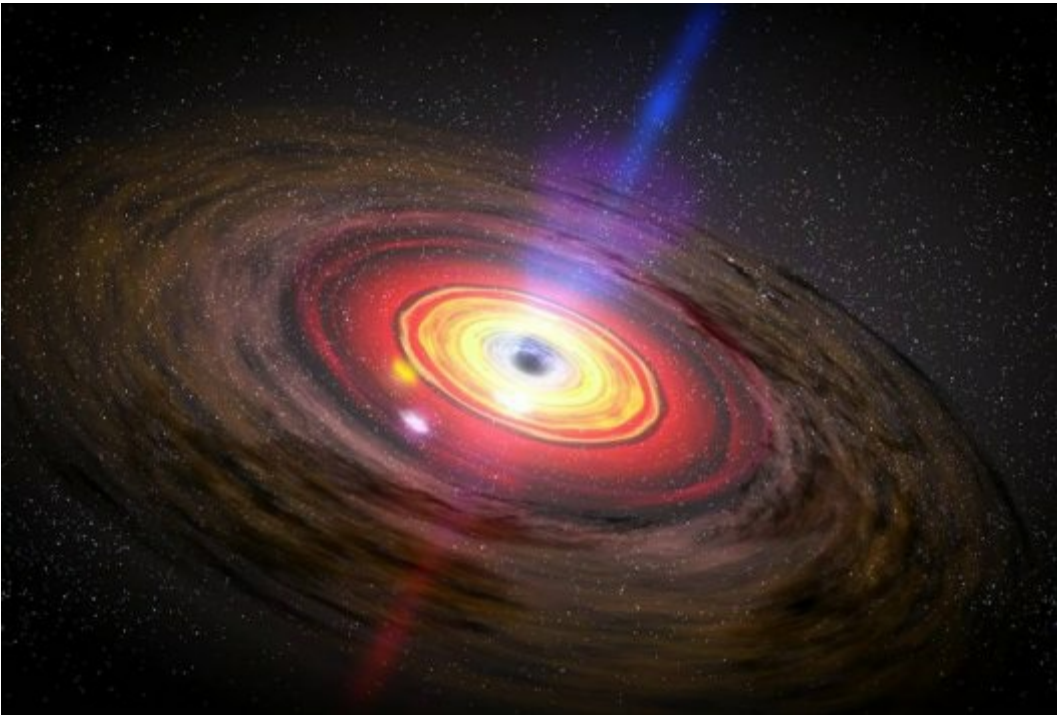
L’analisi è finalmente completata: le immagini sono state calibrate e da esse è stata estratta una curva di luce, la quale mostra agli altri osservatori tutti i dati che possiamo ricavare. L’analisi attenta dei dati fotometrici ci ha permesso di caratterizzare il pianeta appena scoperto.

Naturalmente si tratta di una prima analisi; per affinare i dati occorre seguire il pianeta per diversi transiti, magari con strumenti e tecniche più potenti, ma i dati ricavati ed il metodo

sono corretti e vengono pienamente accettati dalla comunità scientifica, tanto che il nostro team di ricerca è riuscito a pubblicare l'articolo della scoperta sulla più importante rivista accademica mondiale: Astronomy and Astrophysics.

Al di la dei calcoli e dei metodi, riuscire a scoprire un pianeta ancora sconosciuto con il proprio telescopio e calcolarne tutti i più importanti dati con le proprie forze, analizzando solamente le proprie immagini frutto di numerosi sforzi e speranze è una delle più grandi soddisfazioni della scienza e, perché no, della vita. Il fascino della scienza va ben oltre quello che si può effettivamente immaginare: le sorprese sono sempre dietro l'angolo, nei momenti più inaspettati.

L’autore nel settembre 2007 vicino al telescopio con cui ha scoperto il transito del pianeta extrasolare HD17156b.

Astrofisica

Alcuni degli articoli che vedremo sono estratti dal mio libro: "Nella mente dell'Universo"

Questa sezione, suddivisa in due rubriche, l'una un po' più tecnica, l'altra più semplice, rappresenta il cuore di questi volumi e ci proietta verso i grandi temi dell'astronomia teorica. Pianeti, stelle, galassie, buchi neri, quasar, nebulose, ammassi stellari, materia oscura, destino dell'Universo… Affronteremo insieme, mese dopo mese, un viaggio dal piccolo al grande, dal semplice al complesso, attraverso la struttura dell'Universo e le proprietà dei suoi strani abitanti. Per quanto possibile eviterò formule e concetti di difficile comprensione, rendendo l'articolo principale accessibile a tutti. La seconda parte, decisamente più rilassante, è a completa disposizione per tutte le domande sul Cosmo che la vostra mente riesce a concepire.

L’espansione dell’Universo

In molte speculazioni filosofiche l’Universo è visto come un ambiente infinito, sia nello spazio che nel tempo.

È impossibile per la mente umana concepire il significato di infinito e spesso è molto difficile prevederne anche le conseguenze. Se affermiamo infatti che l’Universo è sempre esistito ed è infinito, dobbiamo necessariamente capire se le conseguenze di questa asserzione sono effettivamente verificate.

Un Universo infinito implica l’infinità degli oggetti al suo interno, per definizione.

Per quanto la densità possa essere bassa, il concetto di infinito è molto potente e implica, quindi, infinite stelle, infinite galassie, infinita quantità di materia e infiniti mondi.

Il fatto che almeno un pianeta sia abitato fa si infatti che nel concetto di infinito trovi posto anche l’infinita presenza di altre forme di vita, non importa quanto rare.

Continuiamo su questa strada, ma ci allontaniamo dalle conseguenze filosofico-religiose dell’eventuale esistenza di infinite forme di vita, dirigendoci invece verso considerazioni leggermente più fisiche.

Soffermiamoci, in particolare, su un punto molto interessante: se l’Universo fosse infinito nello spazio e nel tempo conterrebbe infinite stelle.

Pensiamo alle conseguenze di quanto appena detto. Le stelle, infatti, sono brillanti, emettono radiazione elettromagnetica (tra cui la luce). Sebbene molte potrebbero risultare debolissime ed estremamente distanti (distanza infinita), c’è qualcosa che non

sembra quadrare: quanto vale la luminosità totale di infinite stelle dell'Universo?

Non importa quanto una singola componente sia debole: se ne ho infinite, l'energia che giunge sarà di conseguenza infinita!

Se l'energia proveniente dalla infinite stelle dell'Universo fosse infinita, il cielo notturno dovrebbe brillare di luce infinita proveniente dagli infiniti contributi celesti.

Questo che vi ho enunciato è chiamato paradosso di Olbers, dall'astronomo tedesco che lo propose nel 1826.

Di che colore è il cielo di notte? È infinitamente bianco oppure è scuro? (non vale mettersi sotto un lampione!). Bene, la risposta la sapete. Allora, secondo voi, il fatto che il cielo di notte sia buio è compatibile con un'idea di Universo infinito nello spazio e nel tempo?

Vi ho lanciato un bel sassolino, ora cerchiamo di indagare meglio le proprietà dell'Universo e dare magari consistenza fisica al ragionamento logico appena fatto.

L'Universo si espande

Il grande astronomo Edwin Hubble che negli anni venti del ventesimo secolo scoprì e dimostrò l'esistenza di molte altre galassie nell'Universo e per primo ne propose una classificazione, fece in realtà molto di più.

La scoperta della vera natura di quelle ritenute fino a quel momento nebulose, si rivelò essere un vero e proprio vaso di pandora dal quale in pochi anni uscirono idee che hanno rivoluzionato la scienza e la conoscenza dell'intero Universo.

Andiamo per gradi, cercando di percorrere tutti i risultati di quella epocale scoperta, ponendoci presumibilmente le stesse domande che Hubble si è posto durante le sue ricerche.

I primi interrogativi che possiamo porci, un po' come se fossimo dei bambini curiosi in cerca di risposte, sono:

Come possiamo studiare al meglio le galassie?

Quali informazioni possiamo ricavare?

Questa è l'essenza del ricercatore, in particolare dell'astronomo: porsi domande che ogni bambino si è posto nel corso della propria esistenza e cercare di rispondervi con i mezzi e la conoscenza acquisita nell'età adulta.

Il grande Albert Einstein sintetizzò molto bene il pensiero che mosse l'enunciazione della teoria della relatività, e che ben si adatta alla concezione di ogni scienziato: ”Certe volte mi domando perché sia stato proprio io a elaborare la teoria della relatività. La ragione, a parer mio, è che normalmente un adulto non si ferma mai a riflettere sui problemi dello spazio e del tempo. Queste sono cose a cui si pensa da bambini. Io invece cominciai a riflettere sullo spazio e sul tempo solo dopo essere diventato adulto. Con la sola differenza che studiai il problema

più a fondo di quanto possa fare un bambino.”

Tornando al nostro problema che riguarda le galassie “appena scoperte”, vediamo come rispondere alle domande che da bravi bambini ci poniamo, senza alcun limite.

In astronomia non abbiamo molta scelta, visto che non possiamo raggiungere i corpi celesti e non possiamo di certo riprodurli in laboratorio:

1) Analisi della quantità di luce, eventualmente in funzione del tempo;
2) Analisi della quantità di luce ricevuta in funzione della lunghezza d’onda attraverso lo studio dello spettro;
3) Analisi temporale di eventuali fenomeni periodici.

Il terzo punto si usa solamente in casi estremamente particolari, non in questa situazione.

Il primo punto ha portato alla scoperta della natura extragalattica di questi oggetti e alla stima della loro distanza attraverso l’analisi della luce delle variabili Cefeidi al loro interno.

Non rimane che approfondire il secondo punto, lo studio dello spettro, che può darci sicuramente indicazioni sulla composizione chimica, sull’eventuale rotazione (effetto doppler), quindi sulla velocità orbitale delle stelle e sull’intera massa della galassia; insomma, parecchie informazioni potenzialmente estremamente preziose.

Fu proprio Hubble che attraverso l’analisi approfondita dello spettro delle galassie, di cui era nota la distanza (mediante il metodo delle Cefeidi), riuscì a trovare qualcosa che nessuno si sarebbe mai aspettato, una conseguenza che nulla aveva a che fare

con le proprietà delle galassie, fulcro di quello studio, ma importantissimo per comprendere la struttura e le proprietà dell'intero Universo.

Egli scoprì, infatti, che maggiore è la distanza delle galassie, maggiore è lo spostamento verso il rosso delle righe del loro spettro.

Facciamo un veloce esempio per chiarire il significato di questa frase. Se la riga H-alpha dell'idrogeno cade, in condizioni di laboratorio, a 656,3 nm (nanometri), per le galassie lontane questa risulta spostata verso lunghezze d'onda maggiori (verso il rosso), ad esempio a 660 nm.

Lo spostamento verso il rosso di tutte le linee spettrali è un fenomeno ben conosciuto anche a livello locale e il responsabile è l'effetto doppler: una sorgente luminosa (o sonora) che si allontana dall'osservatore (o l'osservatore che si allontana dalla sorgente, per il principio di relatività) mostra uno spettro (luminoso o sonoro) che si sposta verso il rosso, in misura proporzionale alla velocità della sorgente (o dell'osservatore) nella direzione dell'osservatore.

Maggiore è lo spostamento, maggiore è la velocità radiale (la componente diretta verso l'osservatore, per una rinfrescata alla memoria vedere il paragrafo 9.3 sui moti delle stelle). Questa tecnica viene utilizzata anche nello studio e scoperta di pianeti extrasolari o stelle doppie, oppure dagli apparecchi laser in dotazione alla polizia per la rilevazione della vostra velocità sulla strada!

Anche voi potete fare una semplice esperienza analizzando il suono di una sirena (ambulanza, polizia…) che si muove rispetto a voi: quando si avvicina il suono è acuto, ma nel momento in cui vi sorpassa e poi si allontana il tono cambia e si fa

improvvisamente più grave.

Questo è l'effetto doppler : lo spettro dell'onda sonora in allontanamento si sposta verso lunghezze d'onda maggiori (verso il rosso) e diventa più grave; viceversa, quando si avvicina risulta spostato verso le lunghezze d'onda blu e si sente più acuto.

L'effetto doppler è la variazione di lunghezza d'onda e frequenza di un'onda quando l'osservatore o la sorgente si muovono l'uno rispetto all'altro.

A quel tempo già si conosceva la relazione che lega lo spostamento delle linee spettrali alla velocità radiale del corpo celeste coinvolto attraverso la formula:

$(\lambda_{oss} - \lambda_0)/\lambda_0 = \Delta\lambda/\lambda = v_r/c$, dove λ_{oss} è la lunghezza d'onda di una riga di emissione o assorbimento nello spettro della galassia, λ_0 è la lunghezza d'onda della stessa riga in quiete ottenuta in laboratorio in un sistema di riferimento solidale con l'osservatore, c è la velocità della luce nel vuoto, v_r è la componente di velocità del corpo lungo la linea di vita nella direzione dell'osservatore, la famosa (e già sentita!) velocità radiale.

Conoscendo semplicemente la differenza tra lunghezza d'onda misurata e quella di riferimento, $\Delta\lambda$, si può ricavare facilmente la velocità radiale della sorgente: $v_r = c\Delta\lambda/\lambda_0$ (formula

approssimata per velocità lontane da quella della luce).

Quale è stata allora la rivoluzione di Hubble, se l'effetto doppler della luce era ben conosciuto anche alla sua epoca?

Abbiamo appena scoperto che in alcune nebulose vi sono delle stelle, alcune delle quali sono delle variabili ben conosciute, il cui periodo di variabilità è proporzionale alla loro luminosità intrinseca, quindi alla magnitudine assoluta.

Conoscendo il periodo di pulsazione possiamo quindi conoscere la distanza della stella, scoprendo che si trova a milioni di anni luce da noi.

Analizzando lo spettro di decine di galassie le cui distanze erano ormai note attraverso il metodo delle Cefeidi, Hubble scoprì una cosa curiosa: tutte, a eccezione di Andromeda e pochissime altre a noi vicine, si allontanano dalla Via Lattea, poiché il loro spettro è spostato sempre verso il rosso.

Come è possibile una cosa del genere?

Se fossimo noi a muoverci in una direzione, allora dovremmo vedere delle galassie in allontanamento ma altre in avvicinamento (verso la direzione del moto). Se noi stiamo fermi, possibile che tra migliaia di galassie sparse per tutto il cielo, solo 2-3 risultano in avvicinamento?

La risposta è già scritta nei dati: Hubble scoprì che maggiore è la distanza della galassia, maggiore è la sua velocità di allontanamento da noi, a prescindere dalla zona di cielo inquadrata. Le più distanti conosciute a quel tempo si allontanavano addirittura a oltre 10.000 km/s!

A questo punto le possibili spiegazioni sono solo 2:

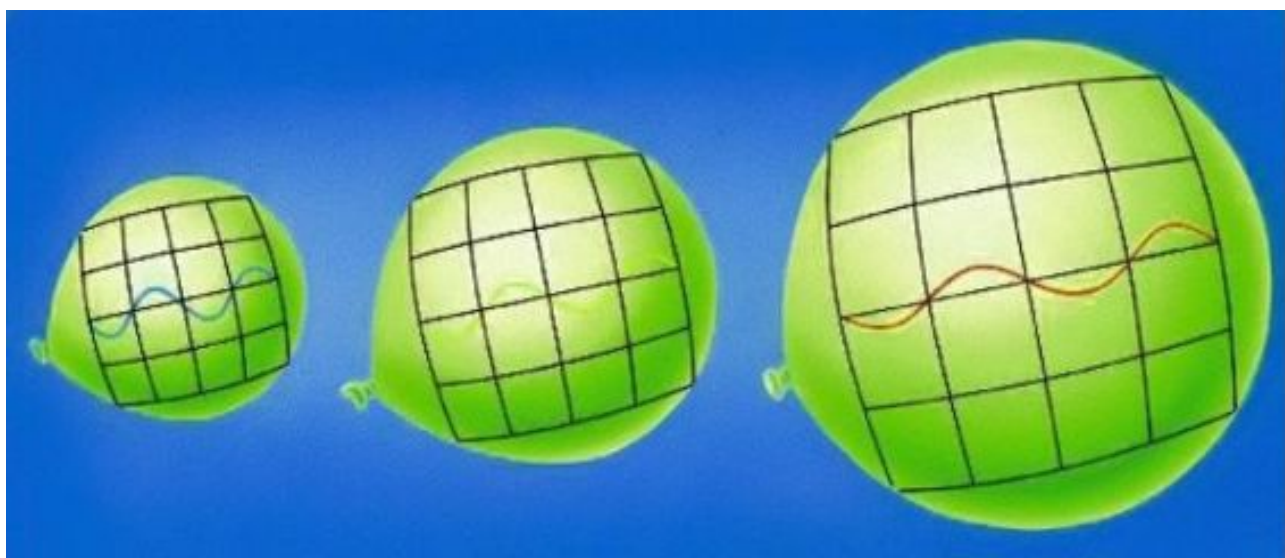
1) la nostra galassia è in un sistema privilegiato, presumibilmente al centro dell'Universo, e sta ferma; le altre si allontanano per qualche strano motivo.

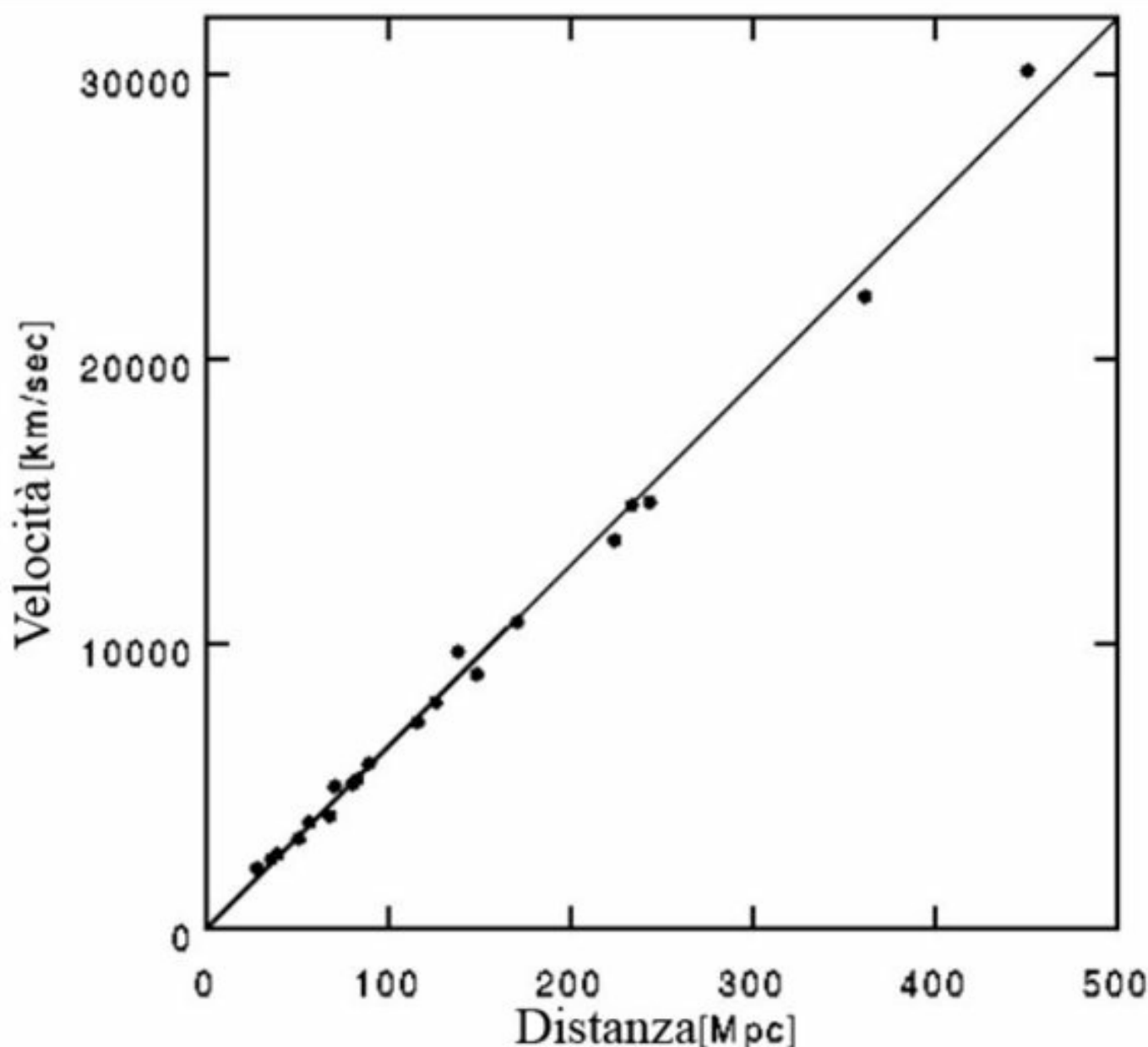
2) La Via Lattea si trova in un punto qualunque dell'Universo ed esso si sta espandendo, o meglio, si espande lo spazio tra le galassie. Esse in realtà sono ferme le une rispetto alle altre, ma tra di loro si crea letteralmente nuovo spazio, in modo del tutto simile a quando si gonfia un palloncino sulla cui superficie sono disegnati dei puntini (che rappresentano le galassie).

Qualunque sia la spiegazione possibile, appare chiaro che l'Universo è un luogo continuamente in movimento.

La prima ipotesi è fortemente antropocentrica e viola alcuni dei principi fisici, come l'uguaglianza tra sistemi di riferimento inerziali, visti proprio nel precedente capitolo e base dell'apparato fisico descritto dalla relatività speciale.

La seconda ipotesi, benché altrettanto esotica, non viola alcun principio fisico.

La risposta è quindi perentoria: le galassie si allontanano perché tra di loro si crea nuovo spazio.

L'Universo si espande alla stregua di un palloncino che si gonfia. Tra le galassie si crea sempre del nuovo spazio, allontanandosi così le une dalle altre. Un raggio di luce subisce l'effetto doppler, come se la sorgente fosse in movimento. In realtà il moto non è reale ma causato dalla creazione di nuovo spazio.

L'Universo è in espansione e si espande tanto più rapidamente quando più guardiamo lontano (nello spazio e nel tempo), secondo una legge semplice, detta relazione di Hubble: $v = H_0 D$,dove v = velocità di recessione delle galassie, D = distanza, con H_0 costante di proporzionalità (molto difficile da determinare con precisione), detta costante di Hubble.

Relazione di Hubble. La velocità di recessione di una galassia aumenta con la distanza, secondo una costante di proporzionalità detta costante di Hubble. Questa relazione è fondamentale per capire le proprietà del nostro Universo.

La formula ci dice non solo che l'Universo si espande, ma fornisce anche un metodo potentissimo e inaspettato per la stima delle distanza galattiche, fino ai confini dell'Universo stesso.

Ricavando infatti la distanza, si ha:

$$D = v/ H_0 .$$

Questa è la formula fondamentale per determinare le distanze di oggetti galattici molto distanti.

Un dubbio che potrebbe sorgere è il seguente: se l'Universo si espande, quindi aumenta lo spazio tra le galassie, dovrebbe farlo anche localmente, ovvero anche la distanza tra le singole stelle dovrebbe aumentare con il tempo. Di più: anche i pianeti del sistema solare sarebbero destinati ad allontanarsi gli uni dagli altri, con conseguenze disastrose (se la Terra si allontanasse dal Sole addio vita!).

Fortunatamente, nonostante misure estremamente precise, non si è mai rilevato l'allontanamento reciproco delle stelle della Via Lattea e men che meno tra i pianeti del sistema solare.

A questo punto, se ricordate quello che vi ho detto (e continuerò a dirvi) in merito a una teoria, potreste domandarmi: è vero quello che ha scoperto Hubble se non si riesce a misurare l'espansione dell'Universo su distanze così piccole e in ambienti che conosciamo sicuramente meglio di remote e deboli galassie?

Come nel caso della teoria della relatività, dobbiamo essere certi che l'impossibilità di compiere una verifica rispecchi la realtà oppure dipenda da altri fattori, tra cui la possibilità tecnologica di farlo.

Per chiarire il nostro legittimo e ben fondato dubbio dobbiamo prima di tutto comprendere di quanto si espanderebbe l'Universo secondo l'affascinante teoria di Hubble.

Il tasso di espansione è dato proprio dalla costante H_0.

Secondo le recenti osservazioni H_0 vale circa 70 km/s/Mpc (chilometri al secondo per ogni milione di parsec). In parole semplici, la relazione ci dice che ogni milione di parsec, quindi ogni circa 3 milioni di anni luce dal punto di osservazione, la velocità di allontanamento rispetto all'osservatore aumenta di circa 70 km/s.

Questo sembra proprio un valore estremamente piccolo: avete infatti idea di quanto sia grande una distanza di oltre 3 milioni di anni luce?

Nel caso di una stella distante da noi circa 1000 parsec (3260 anni luce), la velocità di recessione sarebbe pari a circa 0,07 km/s, un valore piccolissimo se confrontato con il moto attorno al centro della Galassia, pari a oltre 200 km/s!

La situazione è ancora più chiara se consideriamo i pianeti. Anche il più distante dalla Terra, Nettuno, a causa dell'espansione dell'Universo si allontanerebbe da noi a circa 10 nm (nanometri) al secondo! Questo valore è così piccolo da risultare assolutamente trascurabile, di gran lunga sopravanzato dalle interazioni gravitazionali con il Sole, gli altri pianeti, i suoi satelliti stessi.

Siamo arrivati a un'importante conclusione: l'espansione dell'Universo non si nota per piccole scale semplicemente perché la velocità di recessione ha un valore impossibile da rilevare. Per osservare l'effetto dobbiamo rivolgere il nostro sguardo necessariamente verso galassie estremamente lontane.

La teoria di Hubble è salva, il nostro dubbio è risolto!

Il limite per il quale l'espansione dell'Universo si fa sentire può essere identificato come la distanza alla quale competono velocità di espansione superiori ai 1000 km/s. Questo limite si

trova a circa 50 milioni di anni luce. Entro questa distanza l'espansione dell'Universo può essere trascurata.

Una ulteriore riflessione sul tasso di espansione è necessaria, perché può farci scoprire qualcosa di estremamente importante.

Se la velocità di recessione delle galassie aumenta con l'aumentare della distanza, non significa che il tasso di espansione dell'Universo vari con il tempo. Se consideriamo ancora il modello del palloncino, notiamo che, sebbene esso si espanda a un tasso costante, due oggetti lontani si allontanano a velocità maggiori rispetto a due vicini, proprio perché c'è maggiore spazio in espansione.

La relazione di Hubble: $v = H_0D$ ci dice proprio che l'espansione procede in modo costante, perché il ritmo dipende dalla costante di Hubble e non dalla velocità.

In realtà, le ultime osservazioni ci dicono che questo potrebbe non essere vero, poiché la costante H_0 sembra variare con la distanza (quindi con il tempo).

Una costante di Hubble variabile nel tempo implica l'esistenza di qualche forza in grado di modificarla, e con essa di modificare l'intera struttura dell'Universo.

L'unica forza che conosciamo in grado di contrastare l'espansione è la forza di gravità tra gli oggetti contenuti nell'Universo. In effetti, se la quantità di materia fosse sufficientemente elevata, la gravità dovrebbe rallentare l'espansione dell'Universo fino a fermarla completamente.

Le ultime osservazioni, tuttavia, contraddicono questa nostra ipotesi: la costante di Hubble sembra cambiare con il tempo, ma in senso contrario. In altre parole, l'espansione dell'Universo sembra che stia accelerando, invece che diminuendo.

Quando un corpo qualsiasi cambia il proprio stato di moto rettilineo e uniforme vuol dire che è intervenuta una forza. Questa è la prima legge del moto di Newton, applicabile anche all'Universo.

Se esso sta accelerando la sua espansione, proprio alle nostre epoche cosmologiche, quale è la forza responsabile? Attualmente le nostre conoscenze contemplano la sola esistenza della forza di gravità come unica in grado di variare l'espansione dell'Universo; il problema è che la gravità è sempre attrattiva e può solamente rallentare l'espansione, di certo non accelerarla.

Quale è quindi la forza di tipo repulsivo, che agisce su scala cosmologica, in grado di annullare la repulsione della gravità e di far accelerare l'espansione dell'Universo?

A questa domanda nessuno, per il momento, è in grado di rispondere con certezza.

Voglio ora invece mettere in luce un altro significato profondo della legge di Hubble, che ho lasciato per ultimo perché il più spettacolare.

Se le galassie si allontanano le une alle altre, o meglio, se l'Universo si espande a un tasso che possiamo misurare, e che per i nostri scopi ora consideriamo costante, andando a ritroso nel tempo non è difficile immaginare un Universo gradualmente più piccolo di quello attuale. Portiamo al limite questa nostra idea, retrocedendo fino al momento in cui l'Universo doveva essere così piccolo da risultare praticamente un punto. Questo ragionamento logico ci permette di scoprire che l'Universo ha un'età finita, stimabile proprio dalla costante di Hubble.

Invertendo la relazione di Hubble si ha:

$$1/H_0 = D/v \, .$$

Questa espressione ha le dimensioni fisiche di un tempo.

Possiamo a questo punto definire il tempo di Hubble come:

$$t_h = 1/H_0 .$$

Effettuando i calcoli, considerando che $H_0 \approx 70$ km/s/Mpc , si trova un tempo di circa 14 miliardi di anni.

L'interpretazione fisica di questo dato è la seguente: esso è all'incirca il tempo necessario all'Universo per ridursi alle dimensioni di un punto, se invertisse il verso della sua espansione mantenendone costante il valore. In altre parole, è l'epoca nella quale nacque l'Universo, che poi espandendosi ha raggiunto le attuali dimensioni.

A distanza di quasi 100 anni dalla rivoluzionaria scoperta di Hubble, il quadro sulla nascita dell'Universo sembra delinearsi, sebbene sia lungi dall'essere completo.

Le incertezze nel valore e nella variabilità della costante di Hubble non ci permettono di essere più precisi, ma tra 13 e 15 miliardi di anni fa l'Universo era un punto; da quel momento cominciò a espandersi e a diventare il luogo che possiamo osservare oggi.

L'espansione dell'Universo, a partire da quel tempo zero, si può immaginare come una gigantesca esplosione, il Big Bang, che ha generato la materia, la radiazione e lo stesso spazio-tempo che oggi possiamo vedere e misurare.

Con il Big Bang ha avuto origine l'Universo stesso, tanto che non ha molto senso porsi domande del tipo: cosa c'era prima? Cosa c'era al di fuori?

L'Universo, termine con cui si identifica tutto quello che è esistente, era concentrato in un punto; non ha senso parlare ne di confini ne di cosa ci fosse all'esterno, semplicemente perché non esisteva ne lo spazio ne il tempo. Non ha neanche senso dire cosa

ci fosse prima, perché non esisteva un prima, e se fosse esistito, non ne avremmo mai alcuna memoria ne traccia. Il Big Bang è l'atto con cui è iniziato e si è creato l'intero Universo.

Con questa ultima e sorprendente scoperta possiamo dire addio al paradosso di Olbers con cui è stato aperto questo capitolo: il cielo di notte è scuro perché l'Universo non è sicuramente infinito, almeno nel tempo!

Il grande genio di Hubble non ha semplicemente scoperto quanto è realmente grande l'Universo con l'individuazione delle galassie, ma è riuscito anche a scoprirne la principale proprietà, il suo passato e probabilmente il futuro.

Come direbbero i nostri cugini francesi: chapeau!

Domande e risposte

Questo spazio, all’interno della sezione di astronomia teorica, è rivolto a tutti coloro che trovano irresistibili i grandi temi dell’astronomia, ma allo stesso tempo credono che siano al di fuori della loro portata.

Non è così, e spero di dimostrarvelo rispondendo, di volta in volta, a un paio di domande semplici. Non lasciatevi ingannare da questo aggettivo: nell’Universo a domande facili corrispondono spesso risposte articolate e davvero sorprendenti.

Queste domande sono estratte dal mio libro “125 domande e curiosità sull’astronomia”, quindi se siete troppo curiosi dategli un’occhiata.

Se l'Universo si espande, perché ci sono galassie che si scontrano e addirittura ammassi di galassie in interazione?

Il valore della costante di Hubble, quindi il tasso con cui si espande lo spazio attorno a noi, ci suggerisce la risposta a questa domanda, una delle più frequenti in merito al complesso concetto di espansione dell'Universo.

La costante di Hubble afferma che ogni milione di parsec, quindi ogni circa 3 milioni di anni luce dal punto di osservazione, la velocità di allontanamento rispetto all'osservatore aumenta di circa 70 km/s.

Questo sembra proprio un valore estremamente piccolo: basti pensare a quanto sia grande una distanza di oltre 3 milioni di anni luce!

In effetti, è sufficiente fare qualche semplice calcolo per capire meglio.

Nel caso di una stella distante da noi circa 1000 parsec (3260 anni luce), la velocità di recessione sarebbe pari a circa 0,07 km/s, un valore piccolissimo se confrontato con il moto attorno al centro della Galassia, pari a oltre 200 km/s!

La situazione è ancora più chiara se consideriamo i pianeti. Anche il più distante dalla Terra, Nettuno, a causa dell'espansione dell'Universo si allontanerebbe da noi a circa 10 nm, 10 miliardesimi di metro, al secondo! Questo valore è così piccolo da risultare assolutamente trascurabile, di gran lunga sopravanzato dalle interazioni gravitazionali con il Sole, gli altri pianeti, i suoi stessi satelliti.

Siamo arrivati a un'importante conclusione: l'espansione dell'Universo non si nota per piccole scale, perché è svariati ordini di grandezza sopravanzata da molte altre variabili, prima su

tutti la forza di gravità. Per osservare l'effetto dobbiamo rivolgere il nostro sguardo necessariamente verso galassie estremamente lontane, affinché lo spazio che ci separa sia sufficientemente vasto da notare velocità di recessione comparabili, o superiori, con quelle gravitazionali.

Il limite per il quale l'espansione dell'Universo si fa sentire può essere identificato come la distanza alla quale competono velocità di espansione superiori ai 1.000 km/s. Questo limite si trova a circa 50 milioni di anni luce. Entro questa distanza, l'espansione dell'Universo può essere trascurata.

Quando i moti gravitazionali all'interno di un certo spazio sono maggiori dell'espansione dell'Universo, allora le interazioni gravitazionali sono ancora possibili.

Gli ammassi di galassie hanno diametri di qualche decina di milioni di anni luce, quindi da un estremo all'altro la velocità di recessione tra due galassie potrebbe superare i 1000 km/s. I moti gravitazionali attorno al centro di massa, però, possono essere anche dieci volte superiori e di fatto l'ammasso non viene disperso.

Per distanze inferiori, le cose sono ancora più semplici. La galassia di Andromeda, distante 2,3 milioni di anni luce, si dovrebbe allontanare da noi a una velocità di circa 50 km/s, ma la reciproca attrazione gravitazionale è così forte che, sebbene lo spazio di espanda, le due galassie si avvicinano a circa 100 km/s. Questo non significa che lo spazio non si espande, ma solamente che per piccole distanze prevale l'effetto risultante delle interazioni gravitazionali, quindi i moti attraverso lo spazio.

Cos’è il redshift?

Il termine inglese redshift identifica in generale uno spostamento verso il rosso degli spettri di alcune sorgenti, rispetto a quelli che si avrebbero in una posizione di quiete rispetto all’osservatore.

A seconda delle proprietà, dell’intensità e dei corpi nei quali viene osservato redshift, cambia l’interpretazione che viene data a questo che non è altri che un numero.

Lo spostamento verso il rosso dello spettro può essere causato da moti di rotazione, quali quelli di stelle e galassie, da moti propri, cioè quelli che non sono immediatamente riconoscibili come semplici moti di rotazione di un generico corpo celeste, come quelli delle stelle a noi vicine o delle galassie rispetto alla nostra posizione. Lo spostamento verso il rosso dello spettro è prodotto anche dall’enorme fora gravitazionale di stelle di neutroni e buchi neri. In questo caso si parla di redshift gravitazionale. La forza di gravità di questi mostri non può rallentare la luce, perché la sua velocità è fissata dalla Natura, ma ne cambia il colore. Infine, il redshift può essere interpretato come risultato dell’espansione dell’Universo; in questo caso di parla di redshift cosmologico.

Non sempre è chiara la distinzione tra i diversi redshift. Quelli di natura rotazionale sono semplici da identificare, perché l’oggetto considerato (stella, galassia) presenterà un moto di allontanamento e uno di avvicinamento in modo simmetrico rispetto al centro.

Il redshift gravitazionale è di solito circoscritto a piccolissime regioni dello spazio, come in prossimità dei buchi neri stellari o sulla superficie delle stelle di neutroni.

Molto più complicato è invece distinguere il redshift cosmologico da quello prodotto dai moti propri, poiché non vi sono più simmetrie come i semplici moti di rotazione.

La distinzione tra i diversi tipi di spostamento verso il rosso è fondamentale. Un determinato valore, se interpretato come un moto proprio di una galassia in un ammasso di galassie, potrebbe significare che l'ammasso contiene una grande quantità di materia oscura ed è quindi molto più massiccio. Se interpretato come di natura cosmologica, allora quella determinata galassia che sembra far parte dell'ammasso in realtà si trova molto più lontano e il redshift osservato non ha nulla a che vedere con la quantità di materia presente nell'ammasso stesso.

La questione, quindi, è molto delicata; l'errata interpretazione potrebbe cambiare radicalmente le nostre conoscenze dell'Universo, poiché molta della teoria e dei modelli si basano proprio sui delicatissimi significati di questo numero così importante.

Astronautica

Questa sezione è estratta dal libro: "Conoscere, capire, esplorare il Sistema Solare".

Siamo arrivati allo spazio dedicato agli amanti dell'esplorazione dello spazio.

L’astronautica, con le sue sfide tecnologiche, i pericoli, i grandi e spettacolari risultati scientifici, è una disciplina che non può non interessare, al di là della passione per l’astronomia.

Grazie all’esplorazione del nostro Sistema Solare abbiamo imparato moltissime nozioni, anche per quanto riguarda il funzionamento e le proprietà del nostro delicato e prezioso pianeta, senza contare il salto tecnologico enorme compiuto grazie a dei sognatori che di fronte a difficoltà, spesso enormi, non si sono arresti e hanno sempre cercato di raggiungere le stelle.

L’esplorazione di Mercurio

Fino al 2011 Mariner 10 era l’unica astronave avvicinatasi al pianeta, senza però entrare nella sua orbita. Alla sonda americana Messenger, seconda e ultima missione verso Mercurio, spetta il privilegio di essere stato il primo manufatto umano a entrare in orbita.

Sono quindi solamente due le missioni inviate nei pressi del pianeta più piccolo del Sistema Solare, entrambe americane.

La sonda Mariner 10 fu lanciata il 2 novembre 1973.

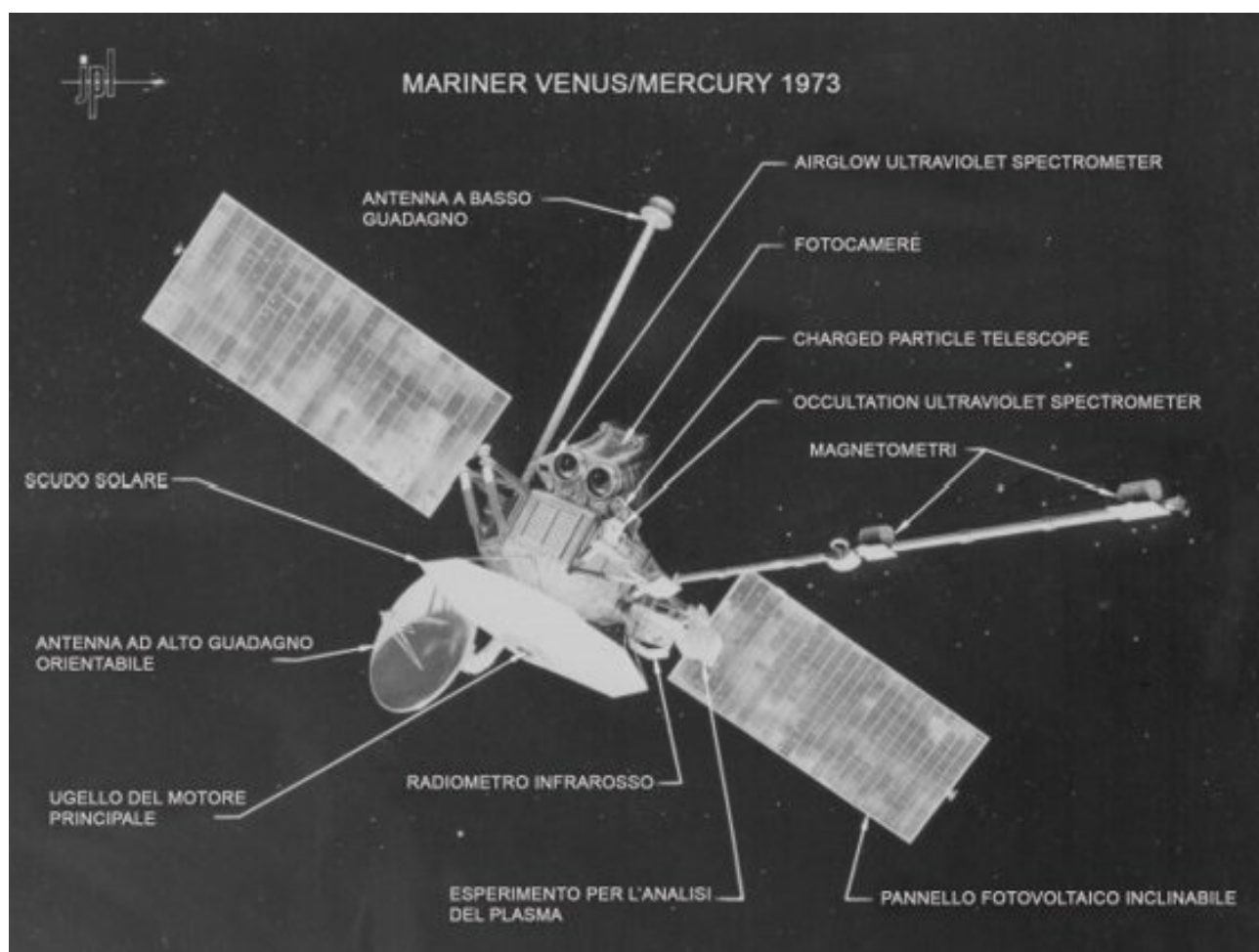
Dopo aver avvicinato Venere raggiunse Mercurio pochi mesi dopo, inviando le prime immagini di un mondo per lo più sconosciuto a quel tempo, viste le enormi difficoltà osservative dalla superficie della Terra.

I tecnici della NASA non avevano però previsto un inserimento nell’orbita del piccolo pianeta, ritenuto troppo difficoltoso a causa della grande forza gravitazionale del Sole in quelle impervie regioni interne del Sistema Solare. In compenso, fu completato un piano di volo davvero ingegnoso, che avrebbe permesso alla sonda di incontrare il pianeta per almeno tre volte durante la sua missione.

Il primo incontro con Mercurio avvenne il 29 marzo 1974, a soli 670 km dalla superficie. Dopo questo fugace rendez-vous, la sonda fu posta in una particolare orbita intorno al Sole, con un periodo doppio rispetto all’orbita del pianeta. In questo modo durante un giro intorno al Sole, la sonda avrebbe incontrato il pianeta altre due volte, potendolo studiare con relativa calma.

Nei tre passaggi ravvicinati, Mariner 10 riuscì a mappare

appena il 45% dell'intera superficie planetaria, perché purtroppo per un gioco di orbite e tempi di percorrenza si ritrovò a osservare sempre la stessa porzione illuminata dal Sole.

I dati e le immagini, seppur incompleti, stuzzicarono non poco la curiosità degli astronomi che scoprirono un mondo piuttosto interessante, a cominciare dai grandi bacini da impatto e da un campo magnetico inspiegabilmente complesso e intenso.

Struttura e strumentazione della sonda Mariner 10 in un'illustrazione della NASA di quel periodo.

La missione Mariner 10 fu la prima a utilizzare la tecnica dell'assist gravitazionale, in gergo detto fly-by, e comunemente conosciuto come effetto fionda, per modificare velocità e direzione risparmiando al massimo sul carburante.

Nessun razzo convenzionale era infatti in grado di rallentare a

sufficienza l’astronave per portarla nelle regioni interne del Sistema Solare. Le difficoltà tecnologiche erano così grandi e insormontabili che quella verso Mercurio venne definita una “missione impossibile”.

Nello spazio, però, la forza di gravità degli altri pianeti può essere fondamentale per accelerare, rallentare e curvare “gratis”. L’astronomo italiano Giuseppe Colombo comprese che si poteva utilizzare il campo gravitazionale di Venere per far perdere alla sonda velocità senza utilizzare alcun mezzo di propulsione. La missione impossibile per gli ingegneri divenne molto reale per gli scienziati.

Mariner 10 sfruttò il campo di gravità di Venere prima e di Mercurio poi per immettersi su un’orbita che le avrebbe permesso di incontrare il piccolo pianeta per due volte.

La tecnica del fly-by è sfruttata in molte missioni ed è quasi indispensabile per le sonde dirette nel Sistema Solare esterno. Con il giusto angolo di approccio e un sorvolo molto radente, la spinta che può ricevere un’astronave può arrivare a circa il doppio della velocità orbitale del pianeta, con un guadagno reale di oltre dieci chilometri al secondo.

Poiché in Natura l’energia resta costante, da dove prende la sonda questa velocità?

L’impulso ricevuto non è certo gratuito, ma proviene dal moto di rivoluzione del pianeta attorno al Sole. Quando l’astronave si avvicina al campo di gravità, ne viene attratta. Se la velocità è sufficiente per sfuggire dall’abbraccio gravitazionale, la sonda curverà e poi si allontanerà. Se il pianeta fosse fermo nello spazio, le velocità iniziali e finali sarebbero identiche, perché in avvicinamento verrebbe accelerata ma in allontanamento verrebbe frenata della stessa quantità. I pianeti, però, ruotano anche

intorno al Sole ed è questo il movimento che viene trasferito durante l'incontro. Quando la forza di gravità attrae la sonda in avvicinamento, la trascina per qualche istante assieme al pianeta nel suo movimento attorno al Sole.

Nel momento dell'allontanamento, l'astronave perderà la velocità guadagnata con l'attrazione gravitazionale, ma manterrà la parte di moto orbitale sottratta al pianeta.

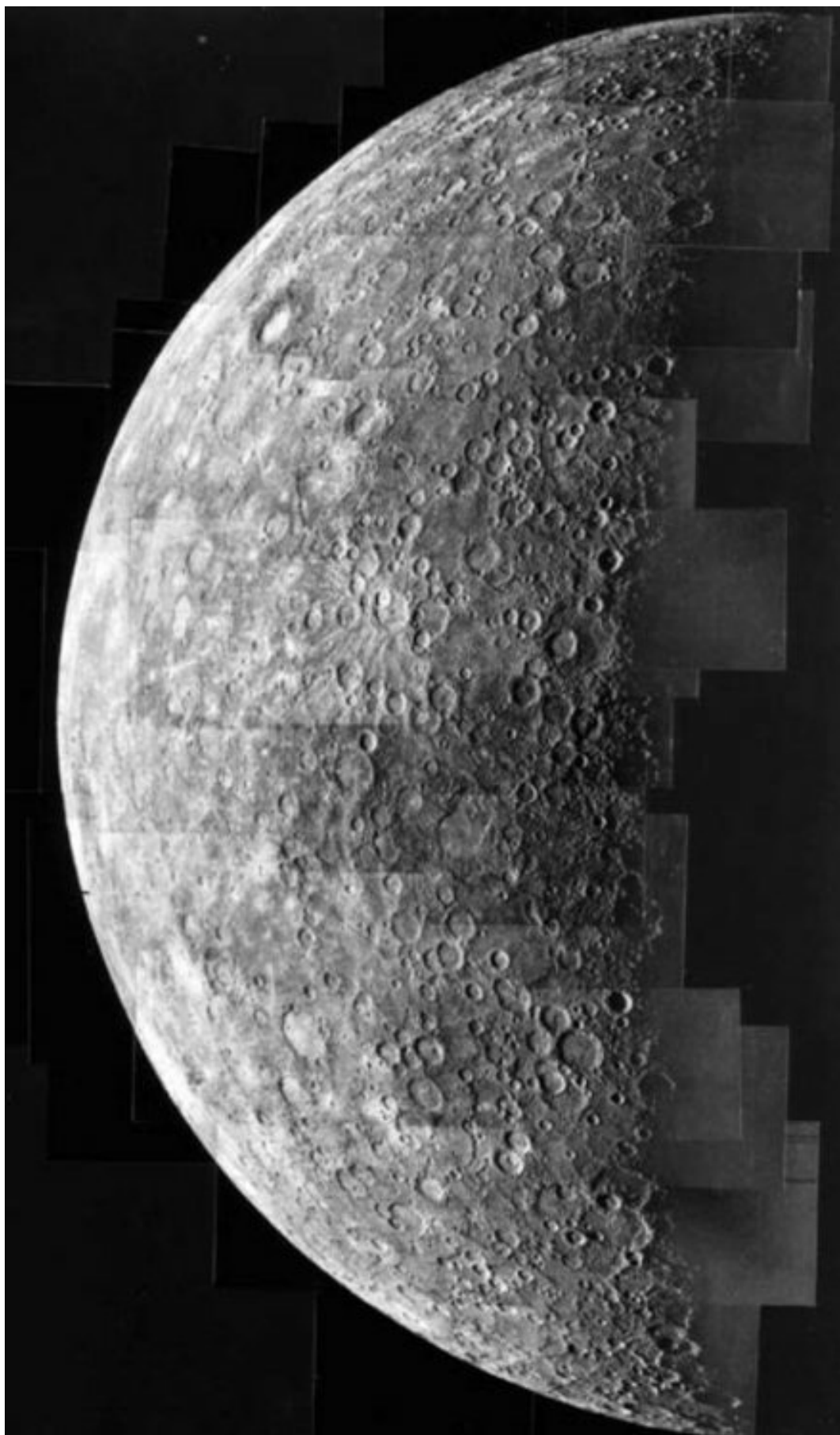
La quantità di energia persa dal corpo celeste è trascurabile rispetto al totale, quindi la manovra non ha alcun effetto sulle orbite dei pianeti.

Nel corso delle prossime pagine vedremo moltissimi altri esempi di tragitti apparentemente strani e impareremo che nello spazio molto raramente la traiettoria diretta è la migliore per ottimizzare i consumi, nota dolente dell'intera esplorazione spaziale con la tecnologia di cui disponiamo.

Dobbiamo anche tener presente che anche i tragitti diretti sono in realtà delle curve molto più lunghe della distanza tra i corpi celesti, per un semplice motivo: i pianeti continuano a ruotare intorno al Sole mentre la sonda è in viaggio.

Il carburante da imbarcare ha ingombri e pesi notevoli e necessita di razzi di maggiori dimensioni per la messa in orbita, aumentando in modo esponenziale i costi, o riducendo drasticamente il carico destinato alla strumentazione scientifica.

Ogni missione, quindi, deve prevedere un piano di volo studiato nei minimi dettagli che consenta di risparmiare la massima quantità di carburante.

Ogni chilogrammo in meno alla partenza equivale a circa 20.000 dollari di risparmio, oppure consente l'installazione di uno strumento scientifico di pari peso: in entrambi i casi si tratta di un guadagno che di certo non può passare inosservato.

Questo mosaico è formato con le prime 18 immagini di Mercurio riprese da Mariner 10, 6 ore prima del primo incontro. Le immagini rivelarono per la prima volta la natura della superficie del pianeta, mai osservata chiaramente

da Terra.

Dopo la grande e complessa avventura di Mariner 10, furono necessari ben 30 anni per scoprirne l’altra metà e cominciare a fare luce su alcuni dei misteri di questo strano corpo celeste.

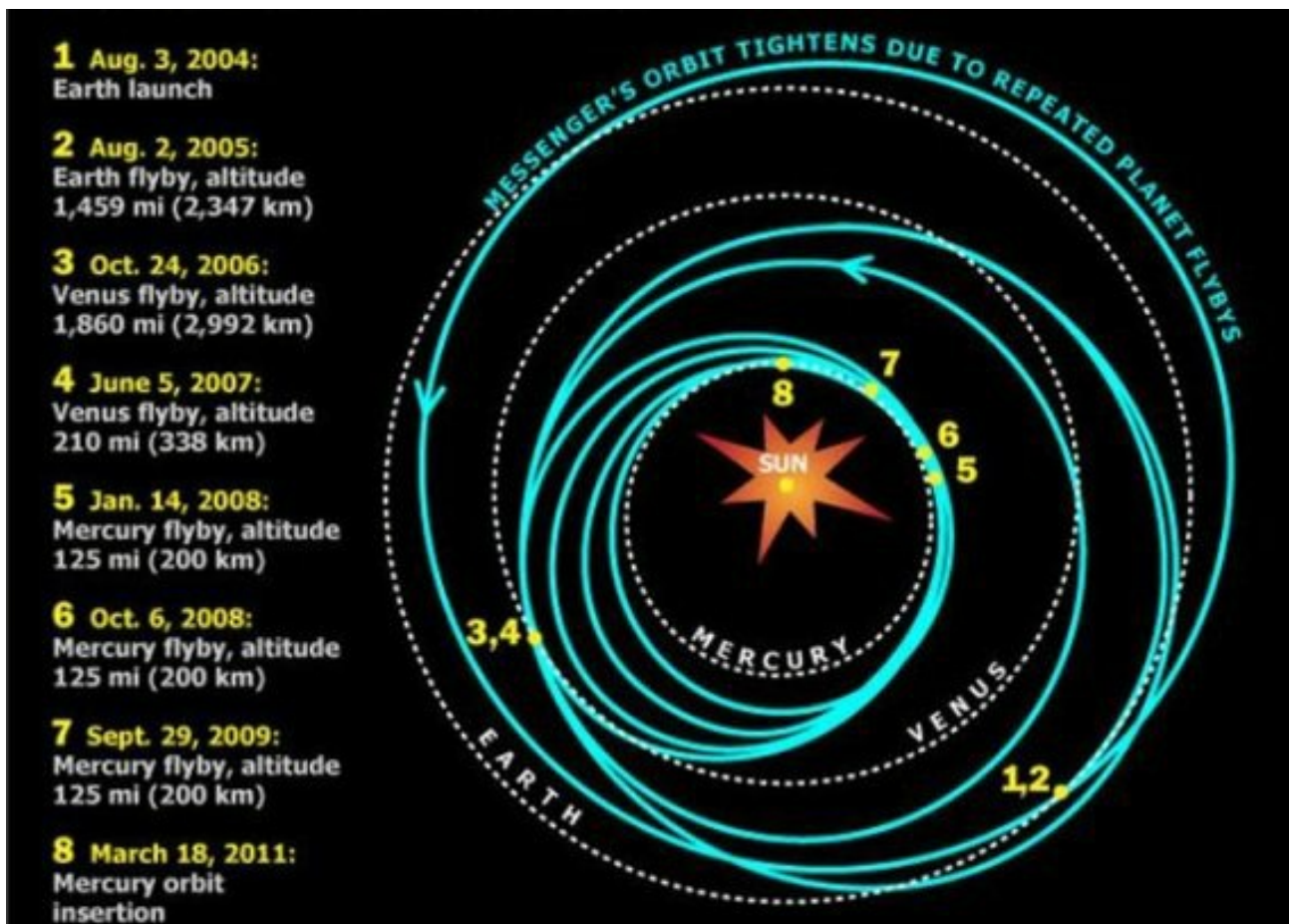
Versioni a colori e in bianco e nero dell’emisfero di Mercurio svelato per la prima volta dalla sonda Messenger.

La sonda Messenger lasciò la Terra il 3 agosto 2004 con l’obiettivo di inserirsi nell’orbita di Mercurio.

Per raggiungere questo importante traguardo, i tecnici della NASA hanno dovuto studiare un piano di volo estremamente contorto, in grado di dare alla sonda la giusta velocità e direzione per porla, senza sprechi di carburante, nell’orbita del pianeta.

Nel febbraio 2005 Messenger si trovò a passare vicino al nostro pianeta per effettuare un fly-by. Nell’ottobre 2006 e 2007 fece la stessa manovra con Venere, per poi proiettarsi finalmente verso Mercurio. Prima però di entrare nell’orbita del pianeta fece

tre passaggi ravvicinati per correggere direzione e intensità della velocità il 14 gennaio 2008, il 6 ottobre dello stesso anno e il 29 settembre 2009.

L'inserimento nell'orbita è avvenuto finalmente il 18 marzo 2011, ma nel frattempo, durante i tre precedenti passaggi ravvicinati, Messenger aveva già osservato oltre il 95% della superficie, concludendo dopo oltre 30 anni il lavoro iniziato dalla gloriosa Mariner 10.

Il complesso percorso che ha dovuto compiere la sonda Messenger per riuscire a entrare nell'orbita di Mercurio, dopo un viaggio durato ben 7 anni.

Nel prossimo futuro è previsto l'arrivo in orbita mercuriana del satellite doppio BepiColombo, nominato proprio in onore del padre della tecnica del fly-by (Giuseppe Colombo, detto Bepi), sviluppato da una collaborazione tra l'agenzia spaziale europea (ESA) e quella giapponese (JAXA). Il lancio è previsto, forse, per

l’agosto 2015.

Attualità

In questa sezione finale vengono proposte notizie e riflessioni sui temi più attuali, spaziando dall'esplorazione di Marte alle galassie più lontane dell'Universo. A decidere gli argomenti è l'enorme progresso scientifico cui va incontro una disciplina attiva come l'astronomia. Scoperte piccole e grandi si susseguono a ritmi frenetici, sebbene gli astronomi in tutto il mondo rappresentino una piccola comunità che a mala pena raggiunge le 20 mila unità. Ma mai come in questo caso la determinazione può superare tutte le difficoltà della disciplina più impegnativa che esista.

Che cos’è il bosone di Higgs

Prima di tutto, meglio non chiamarla particella di Dio.

Questo è un nome sensazionalistico e molto, molto ambiguo, che non c’entra nulla con la scienza. Nessun fisico delle particelle ha mai pensato di darle questo nome. Per loro è semplicemente una particella cercata da tanto tempo, chiamata semplicemente bosone di Higgs.

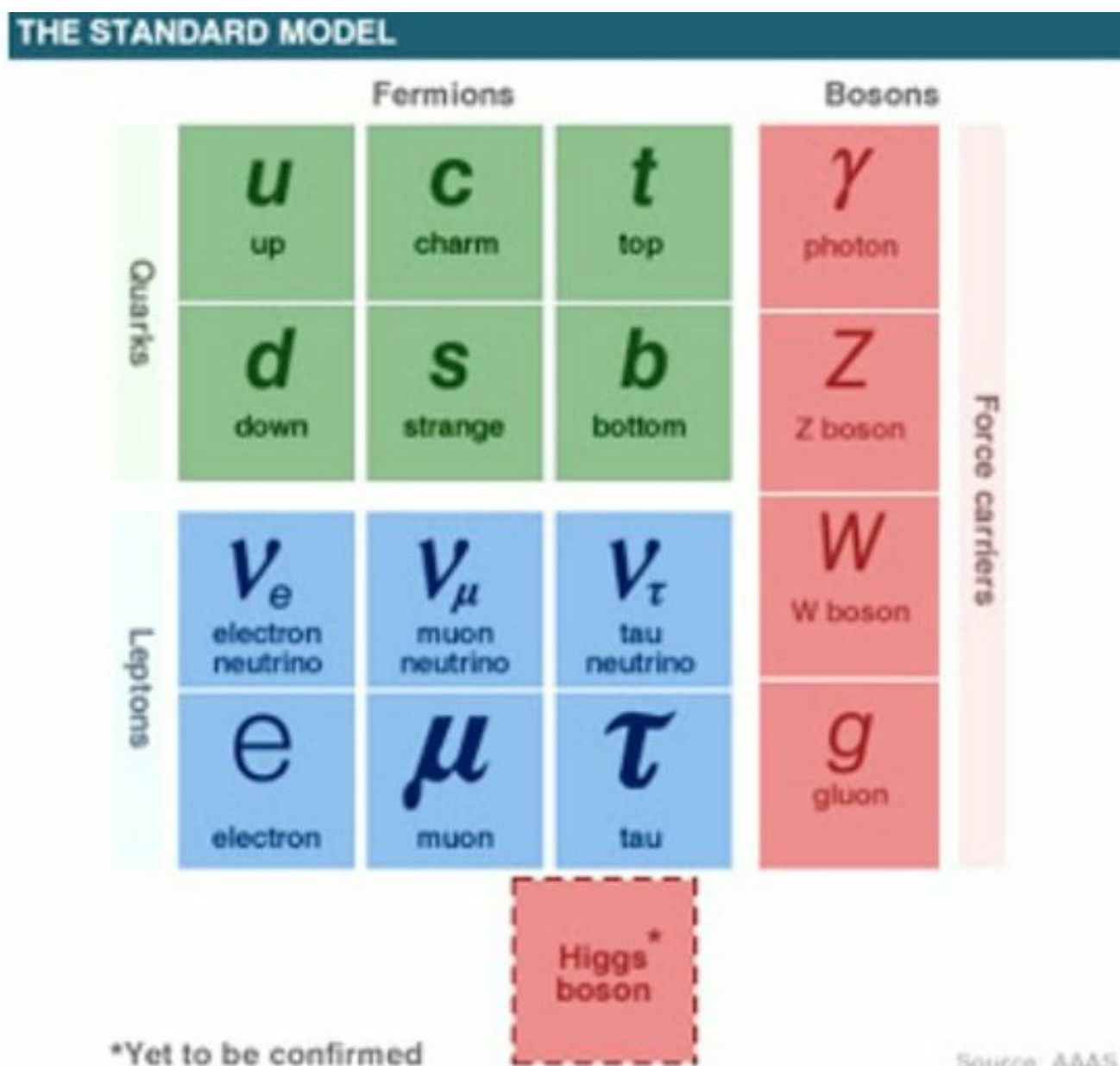
E’ recente l’annuncio ufficiale che al CERN di Ginevra i dati raccolti in oltre un anno di studi sembrerebbero confermare, con un’ottima probabilità, l’esistenza di questa nuova particella, fondamentale per confermare la validità di un modello fisico che fino a questo momento era pericolosamente in bilico tra la salvezza ed un profondo precipizio.

Al di là di roboanti annunci e implicazioni più o meno mistiche, mestiere questo nel quale i giornalisti sono maestri, cos’è questo bosone di Higgs e perché è così importante?

Probabilmente, anzi, sicuramente, non cambierà le nostre vite quotidiane, né di certo dimostra l’esistenza di Dio (si, mi è capitato di sentire anche quest’affermazione tra le varie fazioni che si scontrano senza sapere di preciso di cosa si sta parlando).

Il bosone di Higgs è una particella estremamente importante per tutti i fisici ed è stata una scommessa, a quanto pare vinta, dei modelli che descrivono i mattoni fondamentali della materia e come essi interagiscono per formare le strutture che vediamo, dagli atomi alle stelle.

A partire dagli anni 60 del secolo scorso, i fisici delle particelle avevano compreso che tutta la materia era formata dalla

combinazione di alcune, poche, particelle fondamentali. A tal proposito fu compilata una tabella, una specie di tavola periodica delle particelle, detta modello standard.

Il modello standard delle particelle fondamentali.

In questa speciale tabella trovano posto due gruppi di particelle fondamentali (particelle che non si possono più dividere): quark e leptoni sono chiamati fermioni e rappresentano le lettere dell'alfabeto attraverso le quali si costruiscono nuclei atomici e atomi. L'altro gruppo è composto dai bosoni, particelle estremamente particolari, che hanno il compito unico di

trasmettere nello spazio le informazioni sulle proprietà dei fermioni.

Possiamo immaginare i bosoni come particelle utilizzate dai fermioni per comunicare e interagire tra di loro. Quando un fermione si avvicina ad un altro e vuole interagire con esso, prende il telefono e comunica attraverso l'emissione di bosoni. Ma rispetto ad una classica telefonata, c'è qualcosa di diverso. A seconda del modo in cui due fermioni vogliono comunicare, utilizzano un determinato bosone. In tutto i bosoni a disposizione sono quattro: quattro modi di comunicare tra le particelle elementari.

Questo numero non è di certo casuale. Le particelle elementari, in effetti, hanno solamente quattro modi possibili per interagire tra di loro. I fisici le chiamano le quattro forze fondamentali della Natura.

In realtà non tutti i fermioni hanno a disposizione tutte e quattro le interazioni. Solamente i quark hanno piena libertà di scelta. I leptoni, a cui appartengono l'elettrone e gli sfuggenti neutrini, ne hanno a disposizione solamente 3.

A prescindere da questa piccola differenza, le interazioni fondamentali sono: forza elettromagnetica, forza gravitazionale, forza forte e forza debole. Tutto l'Universo obbedisce a queste quattro forze fondamentali, dalle galassie a noi che spingiamo il carrello della spesa ostacolati dalla forza di gravità e dall'interazione elettromagnetica con il pavimento che causa l'attrito.

Le prime due sono ben conosciute, le ultime un po' meno, perché agiscono solamente su scala subatomica.

Ma non è importante capire quale sia il significato delle interazioni, piuttosto è fondamentale aver chiaro che quando due

particelle fondamentali “scelgono” il modo di interagire, emettono i bosoni relativi a quella determinata interazione, i quali trasmettono nello spazio tutte le informazioni necessarie per capire come dovrà essere portata avanti l’interazione.

Fin qui tutto bene.

Attraverso l’interazione forte, i quark generano le particelle costituenti dei nuclei atomici: protoni e neutroni.

La combinazione tra protoni e neutroni da luogo ai nuclei atomici tenuti insieme dalla forza forte, aiutati dalla forza debole responsabile di alcuni processi, come il decadimento beta.

La combinazione dei nuclei atomici con gli elettroni da vita agli atomi, grazie alla forza elettromagnetica. Gli atomi si combinano e danno origine a molecole, le quali danno vita a strutture più grandi, fino ai pianeti e le stelle, regolati dalla forza di gravitazione.

Il modello così presentato sembra funzionare molto bene. Ogni particella è caratterizzata da un pacchetto di proprietà che ne costituisce la perfetta carta d’identità, tra cui possiamo citare la carica elettrica, lo spin, e molte altre che non ci interessano.

La carta d’identità di ogni particella determina il comportamento ed il risultato una volta che sceglie di comunicare con un’altra particella attraverso l’emissione di bosoni.

Tuttavia nella carta d’identità manca un dato fondamentale: la massa.

Il modello descrive perfettamente le proprietà e le modalità di interazione di tutte le particelle, arrivando a giustificare la formazione di tutta la materia e l’esistenza stessa dell’Universo, ma senza considerare la massa.

Questo è un gran problema: è come dire di essere in grado di prevedere alla perfezione il comportamento e le proprietà

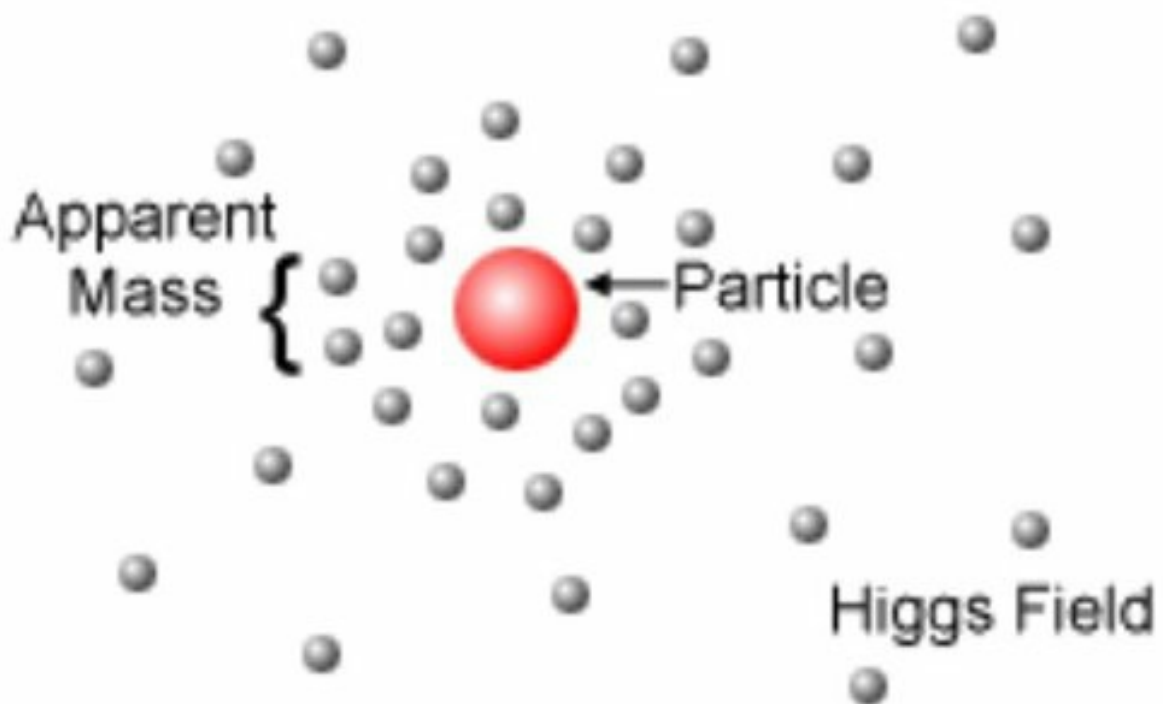
dell'Universo, a patto di affermare che gli oggetti non abbiano massa, che pianeti, stelle, esseri umani siano fatti di particelle senza peso, non materiali.

Per capire che questa è una grande contraddizione, non c'è bisogno di essere dei fisici: provate ad attraversare un muro e ditemi se non sentite la consistenza del cemento!

La situazione era ancora più seria, in realtà, perché se si introduceva nel modello una nuova proprietà che in qualche modo teneva conto della diversa massa delle particelle, tutto il castello crollava su se stesso: le interazioni, addirittura l'esistenza stessa della materia, non erano più giustificabili.

Com'è possibile tutto questo? Il modello è sbagliato? Ma allora perché prevede così bene la realtà, a patto di non considerare la massa delle particelle?

Il grande imbarazzo fu superato, almeno dal punto di vista teorico, da un fisico inglese, un certo Peter Higgs, negli anni 70.

Il fisico britannico affermò che la massa è una proprietà esterna alle particelle, associata ad un campo, analogo a quelli responsabili delle quattro interazioni fondamentali, detto campo di Higgs.

La massa è data dal movimento delle particelle attraverso il campo di Higgs.

Il campo di Higgs può essere immaginato come una fitta trama gelatinosa che permea tutto lo spazio, nella quale le particelle si muovono e per qualche motivo incontrano una resistenza al moto.

L'effetto osservato è del tutto equivalente a quello di una particella dotata di una massa intrinseca che si muove nello spazio, ma l'origine è ben diversa.

Di fatto, questo modello ci dice una cosa sconvolgente: le particelle, quindi tutte le strutture dell'Universo, compresi noi, abbiamo massa, una consistenza, solamente perché ci muoviamo attraverso questa fitta rete gelatinosa che trattiene e regola i nostri movimenti.

L'idea non è poi così assurda, se non altro perché il campo

gravitazionale è responsabile di un effetto simile: trattiene a se i corpi, regolando le proprietà dei loro movimenti.

Introducendo in termini matematici l'idea di questo campo di Higgs ed integrandola al modello standard, tutto sembra funzionare alla perfezione.

Come comunicano, però, il campo di Higgs e le particelle che lo devono sentire?

È qui che entra in gioco il famoso bosone di Higgs.

Sappiamo infatti che i bosoni sono i modi per comunicare una precisa interazione, quindi se esiste il campo di Higgs che da massa alle particelle, deve esistere il suo messaggero, il bosone di Higgs. Per provare l'esistenza del campo, quindi, è necessario osservare il bosone di Higgs.

Attualmente la gran parte degli sforzi dei fisici delle particelle si rivolge verso la rilevazione sperimentale di questa particella, che si pensa avere una massa circa 200 volte maggiore del protone.

Per rilevare la sua presenza, occorre che gli acceleratori di particelle siano in grado di raggiungere un'energia di 200 GeV (Giga elettronVolt), teoricamente alla portata del nuovo acceleratore LHC (Large Hadron Collider) di Ginevra e del Fermilab di Chicago.

Il resto è una storia recente.

Il comunicato stampa degli scienziati del CERN ha confermato l'esistenza di questo bosone, salvando tutta la fisica delle particelle e i modelli costruiti fino a questo momento.

Questa vicenda rappresenta un grande successo dell'umanità nella lunga tappa di conoscenza e comprensione dell'Universo.

Se proprio si vuole vedere un legame con Dio, con l'Universo, direi che è un bel modo per dimostrare che l'essere

umano ha le potenzialità per comprenderlo; a piccoli passi, ma ci stiamo riuscendo. Ma con il Dio prettamente religioso non ha proprio nulla in comune.

Nel prossimo volume

Neofiti: Le montature dei telescopi

Costellazioni: Pesci e Andromeda

Astrofotografia: Imaging planetario: tecnica di ripresa

Ricerca: Introduzione all'astrometria

Astrofisica: La radiazione cosmica di fondo

Astronautica: L'esplorazione di Venere

Attualità: Il progetto SETI: abbiamo trovato trasmissioni intelligenti nello spazio?

Per consigli, critiche, suggerimenti o per inviare materiale (immagini, articoli) scrivetemi a info@danielegasparri.com

Per vedere tutti i miei libri cliccare qui

Se vi siete persi gli altri volumi di astronomia per tutti, li trovate qui